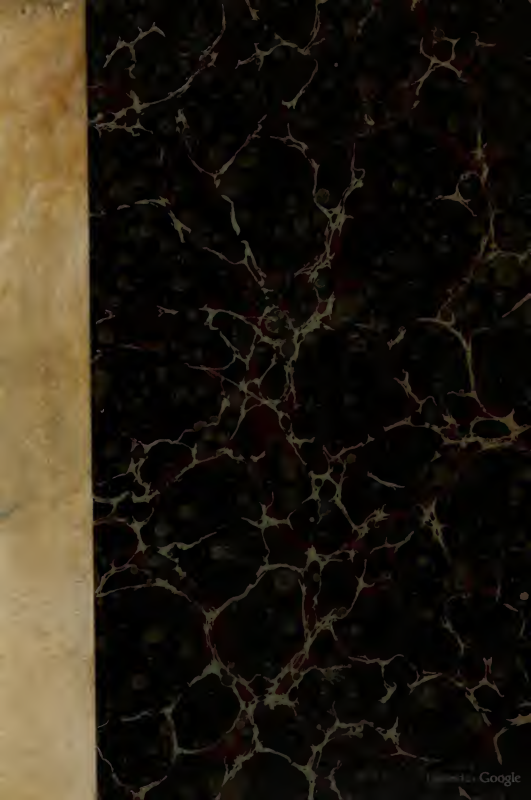
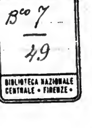









# RECHERCHES

# LES CAUSES ET LES LOIS

# MOUVEMENTS

# L'ATMOSPHÈRE

LE P. J. M. SANNA SOLARO

[illegible]

[illegible]

VENTS RECTILIGNES

PARIS

BUREAU DE LA REVUE *LES MONDES*

[illegible]

[illegible]

RECHERCHES

SUR

# LES CAUSES ET LES LOIS

DES

MOUVEMENTS DE L'ATMOSPHÈRE.

# RECHERCHES

SUR

# LES CAUSES ET LES LOIS

DES

# MOUVEMENTS

DE

# L'ATMOSPHÈRE

PAR


**LE P. J. M. SANNA SOLARO**

D. L. C. D. J.

**Ancien professeur de physique au Lycée Royal de Salerne.**


*Grando, nix, glacies, spiritus procellarum.... faciunt verbum ejus.* (PSAL. 148.)




---

VENTS RECTILIGNES


PARIS

BUREAU DE LA REVUE *LES MONDES,*

Rue du Dragon, 32.

1870

---

* Le lycée au royaume de Naples, c'était l'ensemble des facultés réunies dans un même local pour l'enseignement et pour les examens aux grades académiques. Les facultés portaient le nom de *Commissions*. Le professeur de physique faisait partie de la commission de belles-lettres et philosophie, et assistait aussi aux examens de première année de médecine comme membre de cette commission.

# PRÉFACE

La météorologie est la science qui a pour objet *la connaissance* des phénomènes qui se passent au sein de l'atmosphère. Il est évident qu'on ne doit point prendre cette expression dans le sens d'une simple notion de *l'existence*, mais dans le sens de *l'intelligence* des phénomènes. Car la notion simple de l'existence d'un fait n'est, à proprement parler, qu'une connaissance imparfaite; et, dans tous les cas, elle n'est pas une connaissance scientifique.

Toute science digne de ce nom est la connaissance des effets par leurs causes, *cognitio rerum per causas*. Si la science est abstraite ou de déduction, c'est-à-dire si elle se borne à un ordre de choses purement intellectuelles, elle suppose la connaissance des principes ou des vérités fondamentales sur lesquelles elle s'appuie, et desquelles découlent comme de leur source naturelle toutes les autres vérités qu'elle enseigne. Si la science est expérimentale ou d'investigation, c'est-à-dire si elle a pour objet des phénomènes naturels, elle suppose nécessairement la connaissance des causes qui les produisent, et non pas seulement la connaissance d'un Dieu créateur et ordonnateur de toutes choses, mais la connaissance

*

des causes secondes, desquelles dépendent immédiatement ces phénomènes.

Les sciences abstraites partent des principes pour arriver à la connaissance des vérités secondaires; en sorte que celui qui veut acquérir ce genre de science doit commencer par l'étude de ces principes. Dans les sciences expérimentales ou d'observation, la marche à suivre est entièrement contraire. On commence par la connaissance des faits, pour arriver à la connaissance des causes; mais, dans un cas comme dans l'autre, la science ne résulte que de l'intelligence du rapport et de la dépendance qui existe entre les principes et les vérités qui en découlent, entre les faits et les causes qui les produisent.

Dans les sciences abstraites, par cela seul que par déduction vous avez acquis la connaissance de l'existence d'une vérité, vous en possédez l'intelligence, puisque la connaissance ne peut naître en vous qu'au moment où vous avez saisi la relation de la vérité aux principes. Il n'en est pas de même pour les sciences d'investigation; vous pouvez avoir connaissance de l'existence d'un phénomène sans en avoir l'intelligence. Méconnaître cela, ce serait ignorer les premiers éléments d'une saine philosophie.

Toute *science* d'investigation, avant de mériter ce titre, doit donc passer par une phase préliminaire : c'est le temps employé aux recherches et à l'étude des faits. Cette phase peut durer plus ou moins longtemps; pour quelques sciences, elle a duré des siècles. Ce n'est que lorsqu'on commence à bien saisir le lien de dépendance entre les faits et leurs causes, que la *science* commence à exister.

Cela posé, en quel état se trouve maintenant la météorologie ?

Il y a quelques années (décembre 1855), dans une discussion à l'Académie des sciences, Biot disait : « L'ensemble complexe des connaissances physiques appelé la météorologie n'est pas encore constitué à l'état de science; » et M. Régnault ajoutait : « Les premiers principes à suivre dans les observations ne sont même pas posés et formulés ; on ne sait pas encore ce qu'il faut observer, comment il faut l'observer, ni où on doit l'observer. » Ces paroles sont peut-être aussi vraies aujourd'hui qu'elles l'étaient alors.

Il est bien vrai que quelques savants pensent que cette branche d'études physiques non seulement porte déjà glorieusement le titre de science, mais qu'elle ne laisse pas de lacunes dans ses théories. Si cela était, la météorologie aurait atteint le faîte de sa gloire ; elle serait arrivée à une période d'existence qu'aucune science n'a encore atteint, et qu'aucune science humaine n'atteindra jamais.

La météorologie ne laisse pas de lacunes? A-t-elle donc saisi tous les rapports qui existent entre les phénomènes et leurs causes ? A-t-elle donc trouvé le lien qui les rattache entre eux et qui, pour ainsi dire, les enchaîne dans un seul corps de doctrine, en nous révélant leur dépendance réciproque ? A-t-elle trouvé des explications plausibles, sinon de tous les faits d'une certaine importance, sinon de tous les grands phénomènes, au moins du plus grand nombre d'entre eux ? Connait-elle les causes des variations d'intensité du magnétisme terrestre, des oscillations, du baromètre, des fluctua-

tions de l'électricité terrestre et atmosphérique ? A-t-elle encore sondé les mystères des aurores polaires, des convulsions du sol, des bouleversements divers de cette enveloppe gazeuse qui nous entoure ?

Sans doute, la météorologie est arrivée aujourd'hui à une période brillante, grâce aux intelligents efforts d'une armée de savants illustres, qui ont consacré une partie de leur vie scientifique à l'étude consciencieuse des grands phénomènes de la nature. Oui, grâce à leurs persévérantes recherches, nous sommes en possession maintenant d'un véritable trésor de faits, matériaux précieux, qui, dans un avenir non lointain peut-être, permettront de construire solidement l'édifice scientifique. Mais cet édifice, de l'aveu d'hommes éminents dans la science, cet édifice n'a pas encore commencé à s'élever. C'est aussi notre opinion.

En effet, non seulement plusieurs des grands phénomènes sont sans explication satisfaisante, mais la base elle-même sur laquelle on a cru pouvoir bâtir l'édifice scientifique n'est pas, à mon avis, une base solide. J'entends parler du principe du mouvement général de l'atmosphère.

On croit que la cause principale de tous les mouvements atmosphériques doit être placée dans l'élévation de l'air des régions tropicales.

Tous ceux qui ont écrit sur ce sujet s'expriment de la même manière ; ils disent tous sans exception que ce principe est un fait incontestable depuis longtemps définitivement acquis à la science. Je crois au contraire que bien loin d'être un fait acquis, ce n'est qu'une supposition malheureuse à laquelle doit être attribué le peu

de progrès que la météorologie a fait jusqu'ici comme science. C'est ma conviction profonde.

J'ai commencé par douter des explications des principaux phénomènes météorologiques : un phénomène nouveau ou que je croyais nouveau au début de ma carrière scientifique a fait naître en moi tout à la fois ce doute et l'attrait pour l'étude de cette branche des sciences physiques. Voilà bientôt vingt ans que je me suis mis à l'œuvre ; je puis dire y avoir consacré la plus grande et la meilleure partie des loisirs que me laissaient l'enseignement et l'exercice de mon ministère.

Nous avons étudié minutieusement les ouvrages originaux des météorologistes et des marins. Nous avons soigneusement consulté les cartes-marines de différentes nations, celle de la Marine hollandaise et de l'Amirauté britannique, et plus particulièrement les cartes de la Marine française et de la Marine des Etats-Unis. Nous aurions voulu dresser des cartes spéciales pour parler non seulement à l'esprit, mais aussi aux yeux de nos lecteurs ; malheureusement il nous a été impossible de réaliser notre plan ; nous n'avons pu donner que deux cartes, et encore elles n'ont pas une importance capitale. L'exécution de ce plan demandait de notre part un travail énorme, auquel nous n'aurions pas manqué de nous soumettre, si nous n'avions pas été effrayé par les frais d'impression. Ces frais auraient considérablement élevé le prix de l'ouvrage et l'auraient rendu inaccessible au plus grand nombre des personnes.

Ce volume est divisé en quatre livres. Dans le premier je passe en revue les théories qui ont prévalu jusqu'ici sur les mouvements généraux et accidentels

de l'atmosphère et je les soumets à une critique sévère et consciencieuse par l'analyse des faits. Cette analyse m'a conduit à la conclusion suivante, savoir : qu'on ne peut plus regarder comme vraie la base actuelle des mouvements atmosphériques ; car, non seulement il n'existe *aucun argument, aucune observation directe* en sa faveur, mais elle se trouve en contradiction ouverte avec les faits et avec les lois les mieux établies de la science. Il était donc nécessaire de chercher ailleurs la cause et l'origine de ces mouvements. J'ai cru pouvoir les attribuer à l'action de l'électricité.

C'est pourquoi dans le second livre j'étudie la nature de l'électricité, son origine, ses effets. Il ne m'était pas permis d'expliquer les mouvements de l'atmosphère par les théories de Symmer et de Franklin ; car il n'y a aujourd'hui aucun savant vraiment au courant de la science qui ajoute quelque foi à l'une ou à l'autre de ces théories. Ceux mêmes qui les ont autrefois ardemment patronnées se voient, par le progrès scientifique accompli dans ces derniers temps, forcés de les abandonner. Après quelques réflexions sur ces hypothèses, j'expose l'état actuel de la science par rapport à la nature de cet agent mystérieux que nous appelons l'électricité. J'apporte ensuite mon opinion sur la manière d'expliquer l'état naturel des corps, leur action réciproque et les phénomènes électriques. Je n'admets ni attractions ni répulsions réelles à distance ; mais je regarde tous les phénomènes statiques comme le résultat de forces agissant d'après les lois connues de la mécanique.

Dans le troisième livre je fais voir d'un côté l'électri-

cité naturelle produisant dans l'air des vents véritables, et de l'autre je démontre sa présence dans toutes les agitations atmosphériques, depuis les typhons ou cyclones des régions équatoriales jusqu'aux vents qui soufflent à ciel serein dans nos climats tempérés.

Dans le quatrième j'expose mes théories sur les vents rectilignes.

Un autre volume traitera des cyclônes et des autres mouvements atmosphériques tourbillonnants. Ce volume sera suivi d'un second ouvrage que j'ai consacré à l'étude des autres principaux phénomènes météorologiques.

Le lecteur trouvera dans ces pages qu'il va parcourir plusieurs propositions qui l'étonneront et qui pourront lui paraître paradoxales; son étonnement n'aura pour moi rien que de très-naturel, puisque ces propositions seront souvent opposées à ses connaissances actuelles, et peut-être contraires à ce qu'il a enseigné ou écrit lui-même. Mais il ne serait pas juste de porter un jugement défavorable avant d'avoir pris connaissance des preuves dont j'aurai soin d'appuyer toute proposition qui me serait personnelle.

Je n'ai pas la prétention d'avoir dit le dernier mot sur les questions que je traite; je crois, au contraire, qu'il reste encore beaucoup à faire, beaucoup même au-delà de mes conceptions. Je ne prétends pas non plus que toutes mes appréciations soient justes; il est même fort probable que je me trompe parfois. Quel est le savant qui pourrait se flatter d'être toujours resté dans les limites de la vérité, malgré les études les plus profondes et le travail le plus consciencieux? Serait-il donc éton-

nant que, dans une matière si difficile, de l'aveu de tous les savants, et traitée à un point de vue nouveau, il me soit échappé des inexactitudes? Quoi qu'il en soit, je compte sur l'équité de mes lecteurs et aussi sur leur indulgence. Les hommes capables d'apprécier mon travail se souviendront sans doute des paroles du poète de Venouse :

... Et hanc veniam petimusque, damusque vicissim.

J'avais d'abord écrit cet ouvrage en italien, mais les circonstances ne m'ayant pas permis de le publier dans cette langue, j'en ai entrepris moi-même une traduction. Une fois achevée, j'ai eu le courage de la déchirer et de recommencer le travail. Ce n'est plus une traduction française que je présente au public, mais un ouvrage originairement écrit en cette langue. J'ai visé à être clair avant tout : j'espère y avoir réussi. Mais je ne me flatte pas d'avoir toujours saisi le génie de la langue : le lecteur sera assez bienveillant pour ne pas oublier que j'écris dans une langue qui n'est pas la mienne.

Puissent les longues veilles et les pénibles recherches que m'a coûtées cet ouvrage être utiles au progrès de la science et contribuer à faire admirer la puissance et la sagesse de Celui qui a dicté les lois à la nature, et qui, d'un seul son de sa voix, déchaîne ou enchaîne à son gré la colère des vents et des tempêtes.

# LIVRE I

## EXAMEN DES DIVERSES THÉORIES DES VENTS RECTILIGNES.

### CHAPITRE I.

#### NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

Le vent est un mouvement sensible d'une portion de l'atmosphère d'un point à un autre de l'horizon. L'atmosphère est continuellement en mouvement dans toute sa hauteur, surtout dans les couches qui sont en contact avec la surface de la terre, et partout où la différence des saisons est encore sensible. Des causes multiples concourent à rendre impossible le parfait repos des molécules aériennes : elles sont forcées de passer continuellement d'une couche à une autre, et d'un point à un autre de la même couche.

Tout mouvement atmosphérique cependant n'est pas un vent ; il est nécessaire que le mouvement soit sensible, et qu'il existe sous forme de courant; cela n'a lieu que lorsque, sous l'influence d'une cause quelconque, les molécules d'une couche sont déplacées plus ou moins brusquement, ou impriment aux molécules voisines un mouvement plus ou moins rapide d'un point à un autre de l'horizon.

Tel est précisément le mouvement que nous devons étudier dans ses diverses formes, dans ses intensités diverses, dans ses différents modes de propagation ; mais notre but principal est de rechercher l'origine, les causes et la nature de ce phénomène.

Pour plus de clarté, ou plutôt pour traiter avec ordre cette matière,

nous divisons les mouvements qui se produisent dans l'océan atmosphérique en deux grandes classes : en vents *rectilignes* et en vents *curvilignes*. Parmi les rectilignes, il en est quelques-uns que nous pouvons appeler réguliers parce qu'ils soufflent en des lieux plus ou moins déterminés et à certaines époques de l'année, ou à certaines heures du jour plus ou moins fixes, ou dans une certaine direction plus ou moins constante.

Parmi les vents curvilignes, il en est aussi quelques-uns qui sont renfermés dans les limites d'une zone quelquefois très-étendue et qui ne durent qu'un certain nombre de jours : toutefois nous ne tiendrons pas compte de cette subdivision. Tous les vents peuvent se réduire aux suivants :

| RECTILIGNES. | CURVILIGNES. |
|---|---|
| Vents alizés. | Tourbillons (pamperos? tornados). |
| Moussons, vents étésiens. | Trombes de terre et de mer. |
| Brise de terre et de mer. | Trombes de sable. |
| Brise du matin et du soir. | Ouragans. |
| Contre-courants. | Typhons ou Cyclones. |
| Harmatan, simoun, kamsin. | |

On appelle *alizés* les vents qui soufflent entre les tropiques, en deçà et au delà de l'équateur, pendant toute l'année. On dit que leur direction dans l'hémisphère boréal est entre le N-E. et l'E., et dans l'hémisphère austral entre le S-E. et l'E. Nous verrons en lieu opportun si cette opinion est d'accord avec les faits.

Les *moussons*, du mot arabe *mussin* (saisons), sont des vents qui changent de direction deux fois l'année, de manière que dans beaucoup de lieux ils soufflent, à ces deux époques, dans des directions contraires. On les nomme la mousson du printemps et la mousson d'automne, parce que c'est précisément au commencement de ces saisons que le renversement commence.

La mousson de printemps dans notre hémisphère arrive en moyenne

au mois d'avril, dans l'autre hémisphère elle a lieu en octobre, à cause de l'inversion des saisons. Par la même raison, la mousson d'octobre, qui est pour nous la mousson d'automne, est pour l'hémisphère Sud la mousson de printemps. Ces vents ne se font sentir que dans la zone torride comme les vents alizés, dont ils ne diffèrent point à une certaine époque de l'année.

Les vents *étésiens* sont les moussons de la Méditerranée, connus des Grecs de toute antiquité; ils alternent dans les deux saisons dont nous venons de parler, et ils ne se font sentir chaque fois qu'environ six semaines; leur intensité est très-modérée; ils ne s'étendent qu'à la Grèce, aux côtes d'Italie et aux iles adjacentes. Leur direction est N-E. dans une saison, dans l'autre O. Quand ils viennent de cette région du ciel, ils prennent le nom de *zéphirs*.

On appelle *brise de terre* et *de mer* les vents qui, sur les côtes maritimes, soufflent pendant le jour de la mer vers la terre, et pendant la nuit de la terre vers la mer. Dans les zones tempérées, où on ne les observe que pendant l'été, leur intensité est peu considérable, et ils ne sont pas constants; tandis que dans la zone torride, près des terres élevées et pendant une époque de l'année, ils sont constants, réguliers et accompagnés de circonstances qui leur donnent un caractère spécial. Ils ne s'étendent qu'à quelques lieues de la terre.

La *brise du matin* et *du soir* est un vent léger de la même nature que le précédent, qui se montre dans les pays de montagnes. Le matin il s'élève de la plaine vers les hauteurs; le soir il descend des hauteurs vers la plaine; parfois dans la soirée il peut prendre une intensité considérable, mais d'ordinaire il est à peine sensible.

*L'harmatan*, *le simoun*, *le kamsin* sont des vents très-chauds qui sortent de l'intérieur de l'Afrique et règnent dans toute la partie septentrionale de ce continent, à certaines époques de l'année. Ils tirent leurs noms du pays où ils se font sentir.

On les appelle harmatan sur les côtes de Guinée, simoun sur celles de Barbarie, kamsin en Égypte. On pourrait les compter parmi les vents réguliers, parce qu'ils ne soufflent que pendant un certain nombre de jours, et, comme nous le disions tout à l'heure, à une époque de l'année qui est à peu près toujours la même.

Le *siroco* en Italie, surtout au cap méridional de la Sicile et de

la Sardaigne, peut leur être comparé parce qu'il ne souffle que trois, cinq et, tout au plus, sept jours de suite. Si nous avions à introduire une subdivision dans les vents rectilignes, nous n'admettrions au nombre des vents réguliers que les alizés, les moussons, les étésiens, les vents qui alternent journellement sur les côtes et la brise du matin et du soir.

Par *courants accidentels de surface*, on entend toutes les autres agitations de l'atmosphère qui ont lieu sur la surface de la terre en direction rectiligne; et par *courants supérieurs* ou *contre-courants*, on entend le mouvement de l'air dans les régions plus ou moins élevées de l'océan atmosphérique lorsque ce mouvement ne s'étend pas jusqu'à la surface de la terre.

Parmi les vents *curvilignes*, les *typhons* tiennent le premier rang. Ils se montrent dans toute la zone qui s'étend de la limite extrême des alizés dans l'un et dans l'autre hémisphère, à la latitude de 50° ou 55° Nord et Sud. Dans l'hémisphère Nord, ils se propagent en tourbillonnant de droite à gauche; et dans l'hémisphère Sud, de gauche à droite; mais en même temps ils sont animés d'un autre mouvement de translation à peu près parabolique qui les écarte toujours de l'équateur. Dans les deux hémisphères ils se dirigent d'abord vers l'O., puis, lorsqu'ils ont atteint le sommet de la parabole, ils reviennent vers l'E. Le mot *typhon* semble venir du chinois *ti-fung, ti*, impétueux, et *fung*, vent; et de fait le nom de typhon ne se donne qu'aux vents qui bouleversent les mers de la Chine, du Japon, de Siam et de Malacca : nous l'emploierons pour désigner en général tous les vents de la même nature, à quelques mers qu'ils appartiennent.

M. Piddington a introduit en anglais l'expression *cyclone* pour exprimer la tendance de ce météore à prendre la forme circulaire : nous l'adopterons aussi, puisque cette expression est aujourd'hui reçue dans la langue française.

Les *trombes* sont de grands cônes ou des colonnes de vapeurs qui tantôt s'élèvent de la terre vers le ciel, tantôt et plus généralement descendent d'un nuage, et, outre le mouvement de translation, ont aussi un mouvement de rotation plus ou moins rapide. Si elles se montrent ou descendent sur la terre, on les appelle *trombes de terre;*

si, comme cela arrive le plus souvent, elles descendent sur la mer, on les nomme *trombes de mer*.

Les *trombes de sable* ne diffèrent pas des précédentes quant au mouvement; elles sont tantôt coniques, tantôt cylindriques et formées non de vapeurs mais de sable, et, par conséquent, toujours et nécessairement ascendantes. On ne les voit que dans des lieux arides où la température est très-élevée et où les vapeurs manquent presque complétement.

Les *tourbillons* sont des vents qui, comme les cyclones et les trombes, sont animés d'un double mouvement, mais ils peuvent exister sans nuages. Ils peuvent être d'une grande violence, mais ils sont toujours de courte durée. Nous considérons comme des tourbillons les *tornados* des Espagnols, ou les tourbonados des Portugais. Les pamperos de l'Amérique du Sud sont fort probablement aussi des vents tourbillonnants.

*L'ouragan* est encore un vent semblable au tourbillon, mais d'une intensité plus grande et surtout d'une plus longue durée : il peut être accompagné de tonnerre, de pluie, de grêle, et par conséquent d'un nuage plus ou moins dense.

Il est d'autres dénominations adoptées principalement par les marins; mais elles rentrent dans le nombre des courants de surface, soit que ces vents continuent à souffler lentement pour augmenter graduellement d'intensité, soit qu'ils se déchaînent soudainement, comme il arrive dans les régions où dominent les moussons. Nous ne dirons donc rien des expressions plus ou moins admises dans les divers pays pour désigner les aspects divers sous lesquels les vents peuvent se présenter; d'autant plus que, comme nous l'avons déjà indiqué, notre but n'est pas de décrire ou d'énumérer tous les vents propres aux diverses contrées de la terre, mais de rechercher leur origine et leur véritable nature.

Il est cependant nécessaire d'indiquer au lecteur ce que les marins entendent par *vents polaires*, par *vents tropicaux* et par *vents variables* de la zone torride.

Par *vents polaires* on entend les courants qui se maintiennent dans une direction comprise entre le N-O. et le N-E. dans notre hémisphère, et entre le S-O. et le S-E. dans l'hémisphère austral.

Ils dominent dans les zones glaciales, et arrivent souvent jusqu'aux zones tempérées, et parfois même jusqu'à l'équateur : nous verrons ce qu'il faut penser de cette opinion.

Les *vents tropicaux* règnent entre les deux tropiques : leur direction est contraire à celle des vents polaires ou à celle des alizés; c'est-à-dire que dans notre hémisphère ils soufflent entre le S-E. et le S. ou entre le S. et l'O.; et dans l'hémisphère opposé, entre le N-E. et le N. ou entre le N. et l'O.

On entend en général par *vents variables* de la zone torride tous les autres vents qui soufflent en cette région dans des directions différentes.

Les *alizés*, par la constance et la régularité qu'on leur a attribuées, ont permis d'établir une explication plus facile, ou, pour mieux dire, plus plausible que celle des autres vents. Nous nous occuperons d'abord des alizés parce que, comme la science paraît se reposer avec confiance sur l'interprétation qu'elle en donne, il faut, avant d'entreprendre l'étude des autres mouvements de l'air, montrer le peu de solidité des raisons sur lesquelles s'appuie la théorie que nous avons regardée jusqu'ici comme la mieux établie. Il nous sera par là moins difficile de démontrer l'insuffisance des explications données aux autres vents. Le principe général sur lequel s'appuie l'explication de toutes les agitations atmosphériques étant le même, s'il croule dans la théorie des alizés, il sera démontré par cela seul que les théories des autres vents ne peuvent plus être admises. Toutefois, nous ne nous contenterons pas de ce simple argument.

Dans l'étude de chaque vent en particulier, nous passerons en revue les arguments dont on les a étayés, nous les mettrons à l'épreuve de la raison et surtout à l'épreuve des faits, afin de constater la valeur de chacun de ces arguments et la valeur de l'ensemble.

## CHAPITRE II.

### DIFFÉRENTES THÉORIES DES ALIZÉS.

Les vents alizés ont été observés la première fois par Christophe Colomb. Leur direction constante et régulière jeta l'effroi parmi ses compagnons, qui craignaient de ne plus pouvoir revenir dans leur patrie.

Plusieurs auteurs attribuent généralement à Descartes la première explication de ces vents. D'après ces auteurs, Descartes croyait que les alizés étaient produits par la rotation de la terre qui laissait en arrière l'atmosphère. Mais c'est à tort qu'on lui impute cette erreur. Ce philosophe a essayé de donner seulement quelques explications sur les *étésies* ou vents étésiens des Grecs, lesquels, d'après lui, sont uniquement dus aux vapeurs que le soleil attire des terres et des mers du Nord en mars, avril et mai. Il attribue à peu près la même origine aux différents autres vents dont il a voulu donner l'explication; mais il ne s'est point occupé des alizés. (REN. DESCARTES, *Meteororum. Cap 4, de ventis.)*

L'astronome anglais Edmond Halley, aidé et encouragé par Charles II en 1676, partait pour l'île de Ste-Hélène pour y rédiger le catalogue des étoiles australes. Dans ce voyage comme à son retour en 1678, il fit sur les vents alizés des observations d'un grand intérêt. Les météorologistes lui attribuent à tort la théorie de ces vents, aujourd'hui généralement admise. Moschembroeck, qui a recueilli les mémoires de Halley, a emprunté de celui-ci et de Dampier, les faits qu'ils décrivent plutôt que la théorie. Voici comment les vents alizés étaient expliqués dans cette théorie. Nous rapportons les paroles de Moschembroeck.

« Le soleil est, à ce que je pense, la cause de ces vents. Pour bien comprendre l'action de cet astre, imaginons qu'il ait parcouru

l'équateur. Cela posé, lorsque le soleil darde perpendiculairement ses rayons sur quelque endroit de l'équateur, il y échauffe considérablement la masse d'air qu'il y rencontre; il la raréfie, et il lui communique plus de force. Cet air ainsi échauffé s'étend en toutes sortes de sens, et venant à s'élever au-dessus du reste de l'atmosphère, il se répand alors latéralement de tous côtés, suivant la loi de la pesanteur des fluides : la colonne d'air échauffée devient donc par là continuellement plus courte et plus légère; de sorte qu'elle ne peut alors résister à la pression des colonnes collatérales qui vont se rendre vers l'air du milieu qui est échauffé; puisqu'elles sont composées d'un air plus dense et plus pesant, et que d'ailleurs leurs poids est augmenté du poids de l'air qui est venu se rendre au-dessus d'elles. Les vapeurs chaudes électriques et élastiques que le soleil élève alors en abondance de la mer, qu'il échauffe fortement, concourent encore à ce phénomène : elles se portent dans l'air qu'elles surchargent, et elles le forcent encore par leur ressort à s'élever davantage, de sorte qu'elles augmentent la tendance qu'il avait pour s'élever.

» Cette augmentation de poids peut pousser la partie inférieure des colonnes collatérales dans la colonne du milieu qui est plus rare et qui résiste moins, ce qui peut produire ce vent général qu'on observe. Le soleil avance d'orient en occident, ou la terre d'occident en orient, ce qui revient au même dans ce cas, puisque nous ne faisons ici attention qu'à l'air qui s'échauffe successivement. Il y a donc une étendue d'air d'une certaine longueur placée devant la colonne que le soleil échauffe, et qui est plus élevée que les autres, et, dans cette étendue, l'air plus froid sera poussé par derrière d'orient en occident par l'air qui est plus échauffé, mais aussi qui fera moins de résistance d'orient en occident que les colonnes qui le pressent et qui le poussent du côté du Nord et du Sud : par conséquent cet air, se prêtant aux deux directions qu'on lui imprime, se portera du côté où il trouvera moins de résistance. Celui donc qui se trouvera dans l'hémisphère boréal étant venu d'orient en occident par la pression qu'il éprouve par derrière et du septentrion à l'équateur par la pression latérale qu'il essuie, composera son mouvement de ces deux directions et engendrera

un vent N-E., tandis que la masse d'air qui est dans la partie méridionale étant pareillement poussée par derrière d'orient en occident, et latéralement du midi à l'équateur, composera aussi son mouvement de ces deux directions et engendrera un vent de S-E. (MOSCHEMBROECK, cours de physique, vol. 3 *des Météores*, n° M.MD.LV.) »

Il nous semble que dans cette théorie il y a une contradiction manifeste. « Si la colonne d'air échauffée devient plus légère et plus courte; si cet air ne peut résister à la pression des colonnes collatérales qui vont se rendre vers l'air du milieu, puisqu'elles sont composées d'un air plus dense, et parce que, d'ailleurs, leur poids est augmenté du poids de l'air qui est venu se rendre au-dessus d'elles, comment se fait-il que l'air plus froid soit poussé d'orient en occident par l'air qui est plus échauffé, » en sorte que l'effet de celui-ci prédomine? Il nous semble que l'air du milieu étant plus chaud et plus léger doit s'élever, et si cette élévation détermine un courant d'air vers le milieu, ce ne serait pas d'orient en occident, car l'orient que le soleil abandonne est plus chaud que l'occident. Nous croyons inutile d'insister davantage sur l'examen de cette théorie; car elle fait abstraction de la rotation terrestre, qui est regardée aujourd'hui comme la vraie cause de la direction des alizés. Quant à l'action de la température, nous ne manquerons pas de l'examiner plus loin.

Le premier auteur de la théorie généralement admise aujourd'hui est Jean Hadley, astronome anglais lui aussi, mais postérieur d'un demi siècle environ à Edmond Halley, avec lequel presque tous les météorologistes l'ont confondu. Cette théorie est, comme la précédente, basée sur la différence des températures des masses d'air des pôles et des régions équatoriales; mais la tendance de l'alizé à se porter vers l'ouest est expliquée par la différence de rotation des parallèles terrestres. Le mémoire d'Hadley parut pour la première fois en 1735. *(Transact. philos.)*

Benjamin Franklin, plusieurs années plus tard, il est vrai, mais sans qu'il eût aucune connaissance du mémoire de l'astronome anglais, envoyait à la Société royale de Londres une théorie analogue, ou plutôt identique à celle que nous venons d'indiquer.

Comme aucun auteur, à notre connaissance, n'a fait mention du

physicien américain relativement au sujet qui nous occupe, nous nous croyons en devoir de lui rendre justice. C'est pourquoi nous rapporterons ici les paroles de son mémoire, qui fut lu à la Société royale de Londres, le 3 juin 1756. Voici comment il s'exprime : « Sous l'équateur, entre les tropiques, l'air, constamment échauffé et raréfié par le soleil, tend à s'élever; sa place est remplie par l'air des latitudes Nord et Sud, qui arrivent des régions où le mouvement de la terre et de l'air est moins rapide, et, n'acquérant pas tout à coup la vitesse de mouvement de la terre équinoxiale, se fait sentir comme un vent de l'E. soufflant vers l'équateur, parce que la terre tourne de l'O. à l'E. et glisse sous l'air. » Répondant aux difficultés que lui fait un habitant du Connecticut, il détermine mieux la direction de ces vents.

La difficulté était exprimée en ces termes : « Si l'hypothèse proposée par Franklin est vraie, les vents alizés doivent avoir la direction N-E. pour l'hémisphère Nord, et S-E. pour l'hémisphère Sud. » A cette difficulté il répondait : « Ce que l'auteur des observations suppose devoir arriver dans *mon hypothèse* arrive effectivement. En naviguant vers le Sud, quand on commence à entrer dans le vent alizé, on le trouve N-E. ou à peu près, et il tire de plus en plus à l'E. à mesure que l'on approche de la ligne. On observe réciproquement qu'il tourne peu à peu du S-E. à l'E. quand on vient des latitudes méridionales vers l'équateur. » Ces deux écrits, c'est-à-dire la difficulté et la réponse, ont été lus devant la Société royale le même jour, le 4 novembre 1756. (FRANKLIN, *Œuvres*, v. 2. Paris, Quillan... 1773.) (1)

Voici, en quelques mots, cette théorie. Les couches d'air qui reposent sur la zone torride s'échauffent beaucoup plus que toutes les autres couches des zones tempérées. Celles-là, par conséquent, à cause de leur diminution de densité, s'élèvent à une certaine hauteur, et de là se déversent vers le Sud et vers le Nord pour remplir le vide

(1) Le premier mémoire a dû être écrit, au plus tard, en 1752, puisque le docteur Parkins, dans une lettre à Franklin datée du 16 octobre de cette année, lui fait des difficultés relatives aux trombes dont l'explication se trouve dans le même mémoire.

produit par l'air qui des pôles est descendu vers l'équateur. Il s'établit ainsi dans chaque hémisphère un double courant, l'un dirigé de l'équateur aux pôles dans les régions élevées de l'atmosphère, l'autre des pôles à l'équateur sur la surface terrestre. Mais comme la terre tourne autour d'elle-même, ces deux courants doivent être modifiés. Au lieu de se mouvoir perpendiculairement au plan de l'équateur, le courant de surface viendra du N-E. dans l'hémisphère boréal, et du S-E. dans l'hémisphère austral.

Cette théorie passe généralement pour une des plus solides que la science possède. Il y a même des physiciens qui la regardent non comme une simple hypothèse, mais comme un fait acquis à la science, sur lequel aucune contestation n'est possible. On a voulu même étendre cette explication à toutes les autres agitations atmosphériques. On fait, il est vrai, une large part aux circonstances locales, ainsi qu'à la condensation des vapeurs ; mais la base, mais la cause première de tous les vents de la terre, constants ou variables, rectilignes ou tourbillonnants, est la différence de température.

Il y a quelques années des météorologistes célèbres ont affirmé que les moussons pouvaient avoir une explication analogue à celle des vents alizés. Franklin l'avait dit avant tous; et non seulement il avait appliqué les mêmes principes à l'explication des moussons, mais aussi aux ouragans, aux vents variables de la zone torride et de toutes les contrées de la terre.

Voici ce qu'il dit relativement aux vents de N-O. : « L'air de dessus les mers étant plus chaud, et par conséquent plus léger en hiver que celui de dessus les terres glacées, semble être une seconde cause des vents N-O. ordinaires qui soufflent à angle droit de nos côtes d'Amérique septentionale sur la mer, parce que l'air de la mer chaud et léger s'élevant, l'air de la terre pesant et froid court le remplacer. »

Et relativement aux vents des différents pays, avant même d'avoir donné l'explication des alizés, il avait dit : « Le soleil échauffe l'air de notre atmosphère près de la surface de la terre plus que partout ailleurs ; les régions plus élevées n'ayant que les rayons directs du soleil qui les traversent sont plus froides par comparaison. De là cet air froid sur le sommet des montagnes, et de la neige sur

quelques-unes pendant toute l'année, même dans la zone torride. De là aussi la grêle en été.

» L'air de la région inférieure étant échauffé et raréfié soulève et soutient pendant quelque temps l'air supérieur plus froid et plus pesant, et continue à le soutenir tant que l'équilibre se maintient... Si, par quelque cause que ce soit, l'air pesant et froid qui est élevé au-dessus d'une contrée, échauffé, vient à être inégalement soutenu ou à peser inégalement, la partie la plus pesante descend la première, et le reste la suit avec impétuosité. De là ces grands coups de vents et ces ouragans, quoique dans des climats et dans des saisons chaudes, parce que cet air vient de plus haut. »

Franklin, dans le même mémoire, parle encore plus au long et plus explicitement des tourbillons et des ouragans. Nous n'en citerons pas davantage; ce que nous avons rapporté suffit pour montrer que le mérite des théories actuelles sur les vents revient plus qu'à tout autre au célèbre philosophe du nouveau monde : après lui, on n'a fait que développer plus ou moins les mêmes principes. On s'est exprimé d'une manière plus claire et plus nette, et souvent plus scientifique : on a indiqué d'une manière plus détaillée les circonstances qui peuvent concourir à modifier les phénomènes sur les différentes parties de l'enveloppe terrestre; mais, répétons-le encore une fois, les théories des vents sont restées, à peu près, là où Franklin les a laissées. On n'a pas voulu se donner la peine de les examiner sérieusement; on a ajouté trop de foi à l'apparence de vrai, ou au spécieux qu'elles présentent, et, comme nous disions plus haut, on a fini par croire que, surtout celles des vents alizés et des brises, étaient des théories à l'abri de toute difficulté. Cependant, non seulement elles ne sont pas à l'abri de toutes difficultés, mais nous ferons voir qu'elles sont bien loin d'être des théories sérieuses. Commençons par les vents alizés.

M. Maury, lieutenant de la marine américaine et directeur de l'observatoire de Washington, est d'avis que la théorie des alizés doit être modifiée. Il fait justement remarquer que si l'on fait venir à l'équateur l'air directement des pôles, il n'est pas possible d'expliquer les vents des autres latitudes, surtout ceux qui dominent à quelque distance des limites extérieures des alizés eux-mêmes. Dans

la supposition que ces derniers soient produits par les masses d'air venant directement des pôles, il fait remarquer que dans chaque hémisphère on n'aurait que des vents alizés. Or, premièrement, les alizés, en moyenne, ne commencent qu'au 30° de latitude Nord et au 28° de latitude Sud. En second lieu, dans les latitudes plus élevées, il existe d'autres calmes et il souffle d'autres vents.

Quoique ces vents et ces calmes n'aient pas, comme nons le verrons, la stabilité que leur donne M. Maury, néanmoins leur existence aux différentes époques de l'année étant incontestable, ils forment uno difficulté sérieuse contre la théorie. Cette difficulté a déterminé le savant américain à y introduire des modifications que nous allons indiquer.

En partant toujours des mêmes principes, il affirme qu'au lieu de supposer deux courants dans chaque hémisphère il faut nécessairement en admettre plusieurs qui se rencontrent et qui se croisent dans les parties élevées de l'atmosphère. M. Maury, dans le premier chapitre de ses *Instructions nautiques*, après avoir dit qu'une molécule (il prend toujours une molécule comme type du courant) descendant successivement par les différentes parallèles, animée d'une vitesse toujours croissante, doit preudre une direction N-E. pour l'hémisphère boréal et S-E. pour l'hémisphère austral, reprend cette molécule pour la suivre ainsi dans le trajet qu'il lui fait faire autour de la terre.

L'autenr fait d'abord monter la molécule au pôle Nord dans les régions supérieures par un mouvement de rotation en sens inverse de celui des aiguilles d'une montre. Il la fait marcher ensuite en courant supérieur jusqu'à la hauteur des calmes du cancer, où elle rencontre la molécule venue des calmes équatoriaux aussi en courant supérieur. Là ces molécules, venant l'une contre l'autre en direction opposée, s'inclinent vers la terre et se croisent sous un angle de 45° environ. De cette rencontre résulte d'abord la zone des calmes du cancer, et ensuite les deux courants reparaissent à la surface, et constituent, celui qui vient de l'équateur, un vent de S-O., et celui qui vient des pôles, l'alizé N-E. Ce dernier souffle en vent de surface jusqu'à la zone des calmes équatoriaux où il rencontre l'alizé du S-E. A cet endroit, la molécule venant du pôle Nord remonte de la

même manière qu'elle est descendue et devient de nouveau courant supérieur jusqu'aux calmes du capricorne; puis elle redescend vers la terre et souffle en vent de N-O. jusqu'aux calmes du pôle Sud. Là elle commence à s'élever vers les régions supérieures, mais cette fois par un mouvement de rotation de même sens que celui des aiguilles d'une montre, et opère d'une manière analogue son trajet de retour vers le pôle Nord. (MAURY, *Instructions nautiques. Traduction française*, par Vaneechout. Paris, Didot 1859.)

D'après cette manière de voir, chaque colonne d'air en mouvement rencontre une autre colonne qui marche en direction contraire. Cette rencontre pour les mêmes masses d'air arrive deux fois à l'équateur, deux fois au delà du tropique du cancer, deux fois au delà du tropique du capricorne, et une fois à chaque pôle. L'effet de cette rencontre est d'abord le calme pendant plusieurs degrés de trajet, et ensuite de nouveau le mouvement.

Les complications que l'illustre savant américain a voulu ajouter à l'ancienne théorie des alizés sont présentées sous le nom de théorie générale, capable non seulement de rendre compte de ces vents, mais aussi des vents généraux de surface et des contre-courants des régions élevées de l'atmosphère. Avant de nous occuper de la théorie dans sa simplicité, nous passerons en revue ces complications.

## CHAPITRE III.

### THÉORIE DE M. MAURY.

M. Maury, dans l'exposition de sa théorie, commence par mettre en mouvement les courants polaires, tandis que la véritable origine du mouvement se trouve à l'équateur. Il serait indifférent, sans doute, de commencer à analyser le mouvement, soit par les pôles, soit par l'équateur, pourvu qu'on fît descendre l'air des pôles vers l'équateur, car alors ces mouvements pourraient être considérés comme dépendants l'un de l'autre. Mais, comme on veut que l'air des pôles s'élève pour se déverser tout autour par la zone glaciale dans les régions supérieures de l'atmosphère, nous ne comprenons pas quelle pourrait être la cause de cette élévation. On convient que l'air de la zone torride s'élève, on admet qu'il laisse derrière lui un espace de vide, et l'on prétend après cela que l'air des pôles s'élève aussi.

L'auteur lui-même ne sait pas se rendre compte de ce mouvement ascensionnel. Il dit en effet : « Par une cause dont la science ne donne pas encore d'explication satisfaisante, cette molécule, en quittant les régions polaires, effectue la première partie de son trajet (jusque vers le parallèle de 30° Nord) dans les régions supérieures de l'atmosphère, au lieu de se maintenir à la surface de notre globe (Ch. I, n° 5). » Mais il ne s'agit pas seulement de cela : non seulement la science ne sait pas se rendre compte de ce fait ; elle n'a aucune connaissance du fait lui-même. Aucun observateur n'a jamais constaté rien de semblable. Donc M. Maury ne part pas d'un fait réel ; il part d'une supposition gratuite qui, de son aveu, n'est pas même en harmonie avec les données théoriques de la science. Nous reviendrons dans quelques instants sur ce point.

L'auteur affirme ensuite que cette colonne d'air polaire dans les

hautes régions de l'atmosphère rencontre vers le 30° de latitude un autre courant de direction opposée. Ce courant n'est autre chose, d'après lui, que l'air du pôle Sud, qui, après avoir parcouru la zone glaciale antarctique toujours dans les régions élevées, redevient successivement courant de surface dans la zone de l'alizé S-E. C'est précisément à la limite extérieure de ce dernier alizé que la molécule partie du Sud rencontre la molécule partie du Nord. Quel est le premier résultat de cette rencontre? L'auteur veut que les deux courants descendent. Mais pourquoi descendraient-ils? Il me semble que s'ils devaient changer de direction, ce ne serait pas pour descendre, mais pour s'élever; car à ce moment cet air est plus chaud qu'aux pôles et plus léger que les couches sur lesquelles il repose, et de plus il est soumis à l'action de la force centrifuge qui n'existe pas aux pôles, tandis que cette force est très-sensible à la latitude de 30°. Affirmer que l'air s'élève aux pôles et qu'il descend lorsqu'il est arrivé au 30° parallèle, c'est prétendre à un résultat contraire aux lois de la mécanique.

Le second effet de la rencontre est le calme. Voici comment s'exprime l'auteur : « Ces deux molécules, au moment de leur rencontre dans les régions supérieures, se meuvent suivant des directions diamétralement opposées : de là sur toute l'étendue du 30° parallèle Nord une zone de calme et une accumulation atmosphérique pour contre-balancer la pression des vents tant du Nord que du Sud. C'est là la zone dite des calmes du cancer. » Un troisième effet de la rencontre est la naissance de deux nouveaux courants contraires. « Nous en voyons sortir à la surface, ajoute-t-il, deux courants aériens bien établis et se dirigeant l'un vers l'équateur, ce sont les alizés du N-E.; l'autre vers les pôles, ce sont les vents généraux du S-O. » (Ch. I, n° 67.)

Voyons ce qu'il y a de vrai en cela. Deux courants d'air marchant en direction diamétralement opposée doivent, lorsqu'ils se rencontrent, se confondre de manière à ne plus former qu'une seule et même masse; et une fois que le mélange de ces colonnes d'air a eu lieu, on ne voit pas par quelle cause elles se sépareraient de nouveau sous forme de deux courants distincts. Cette rencontre pourra, tout au plus, donner lieu au calme, mais de ce calme il ne pourrait

renaître aucun vent. D'ailleurs, l'auteur lui-même, en disant qu'au moment de la rencontre il se produit « une accumulation atmosphérique suffisante pour contre-balancer la pression tant des vents du Nord que du Sud, » affirme, sans le vouloir, que l'effet de cette rencontre est de faire disparaître tout mouvement. Donc après la rencontre aucun vent n'est plus possible : ce serait un effet sans cause.

Supposons que les deux courants ne se confondent pas, qu'arrivera-t-il ? Ils se comporteront comme deux corps élastiques. Ils ne devront ni descendre ni monter, mais revenir sur eux-même après avoir échangé leurs vitesses : le courant du Nord devrait revenir sur son chemin avec la vitesse du courant du Sud et réciproquement. Ainsi le choc devrait être considéré comme non avenu, puisque la direction et l'intensité des deux vents, avant et après le choc, est la même. D'où il suit naturellement que les calmes du cancer ne peuvent pas être expliqués, et que les courants ne descendent pas vers la terre.

Pour que ces courants pussent descendre vers la surface terrestre, il faudrait les faire rencontrer non en ligne droite, mais sous un certain angle. Mais dans ce cas, comme chaque courant, après le choc, recule, les vents du S-O. devraient être secs, les vents du N-E. humides ; c'est-à-dire, qu'on devrait observer le contraire de ce qui arrive réellement. Par conséquent, dans cette hypothèse, comme dans l'hypothèse précédente, les vents généraux du S-O. et les vents alizés du N-E., ainsi que les calmes, restent sans explication.

Cependant, en réalité, la rencontre des deux courants atmosphériques ne produira rien de ce que nous venons de dire. Le calme n'aura pas lieu. Les deux courants ne se comporteront pas non plus comme deux corps élastiques ; mais, à la suite du choc, les deux colonnes d'air en mouvement prendront la direction d'une résultante, même dans le cas du choc en ligne droite ; car il n'est pas probable que les courants aient la même vitesse. Donc après la rencontre il n'y aura plus qu'un seul vent ; et ce sera toujours un vent supérieur, non un vent de surface. Donc, les calmes et les vents de S-O., ainsi que les alizés eux-mêmes, restent sans explication. On le voit, dans toutes les

hypothèses possibles, les effets de la rencontre sont contraires à ceux que M. Maury lui attribue.

Nous avons dit plus haut que l'auteur fait élever l'air des pôles sans qu'il y soit autorisé par aucun fait. Quels pourraient être les faits tendant en quelque manière à démontrer que l'air des pôles, au lieu de descendre en rasant le sol, monte dans les régions supérieures ? Les observations directes relatives à la circulation de l'air aux pôles nous manquent. Nous ignorons complétement ce qui se passe dans ces contrées inconnues. M. Maury lui-même convient qu'il ne s'agit là que d'une simple supposition. En effet, dans l'explication des cartes des alizés, après avoir répété les considérations faites dans le 1er chapitre sur la circulation atmosphérique, et surtout sur l'ascension de l'air polaire, il dit : « Du reste, ces considérations ont été exposées précédemment (Chap. 1.), et nous avons eu soin d'établir en même temps non pas leur certitude *(rien ne nous autorise à le faire),* mais leur haut degré de probabilité. (Page 172.) » Donc l'élévation de l'air vers les pôles, et, par conséquent, le système de circulation, de son aveu, n'est réellement appuyé sur aucun fait.

Mais voyons au moins sur quels arguments est basé ce haut degré de probabilité. Dans un endroit, l'auteur nous dit que les vents dirigés vers les pôles s'en approchent en suivant des spirales qui doivent finir par dégénérer en tourbillon, une fois que ces vents arrivent aux pôles. La raison qu'il apporte est « la coïncidence curieuse entre cette conclusion théorique et le résultat des observations de Redfield, Reid, Piddington et autres qui ont établi que dans l'hémisphère Nord les ouragans circulaires tournoient de droite à gauche comme les tourbillons du pôle Nord; tandis que dans l'hémisphère Sud ces ouragans tournoient en sens contraire, et par suite aussi comme les tourbillons du pôle Sud. (Chap. I, nº 4.) »

Cette coïncidence, d'après nous, non seulement ne donne pas un haut degré de probabilité à l'hypothèse, mais elle ne constitue pas même un degré de probabilité quelconque ; car il n'y a aucune ressemblance entre les typhons ou cyclones et les vents que le savant auteur suppose constamment dirigés vers les pôles. Les typhons sont des vents dont le mouvement est exceptionnel, et tout à fait différents des vents continus. Ils se déchaînent toujours dans les basses latitudes :

dans leur mouvement de translation ils ont rarement dépassé le 60ᵉ parallèle; jamais, que je sache, ils n'ont franchi le cercle polaire. Les typhons sont doués d'une intensité prodigieuse qu'on ne saurait comparer à celle d'aucun autre courant atmosphérique. Les courants polaires de M. Maury, au contraire, quoiqu'ils soient aussi des conrants tourbillonnants, produisent le calme !

Cependant M. Maury ajoute que le mouvement tourbillonnant provient de la différente vitesse des parallèles terrestres et des vents généraux du S-O. Ainsi le *haut degré de probabilité* ne repose pas seulement sur la coïncidence indiquée tout à l'heure, mais aussi sur ces deux autres causes.

Nous nous occuperons plus loin de l'influence de la rotation de la terre et de la différence de vitesse de ses parallèles sur la direction des vents. Quant aux vents de S-O., d'après les travaux de M. Lartigue, capitaine de vaissean de la marine impériale, nous savons que les vents des tropiques commencent entre le 30° ou 40° parallèle, et qne leur limite polaire peut varier entre le 45° et le 60° parallèle. (Lartigue, *Exposition du système des vents.* Paris 1855, page 27.) Ce serait par conséquent au 45ᵉ parallèle que l'air devrait commencer à monter en tourbillonnant, parce que c'est là, ou, tout au moins, au 60ᵉ parallèle, qne devrait commencer la zone des calmes polaires. Mais nous savons que si les vents de S-O. à cette latitude généralement disparaissent, il s'y manifeste néanmoins d'autres vents aussi variables que partout ailleurs. Très-souvent ce sont des vents polaires qu'on peut présumer descendre directement des pôles. Ces vents sont souvent aussi très-intenses et arrivent sans changer de direction jusqn'aux parallèles de 20° et de 18°, parfois jusqu'au 16° parallèle ; en sorte que les vents polaires peuvent non-seulement dépasser la zone des vents tropicaux, mais investir aussi la zone des calmes du Cancer, et celle de l'alizé lui-même. (Lartigue, p. 14.) Donc le mouvement du fluide aérien vers les pôles, de la manière voulue par l'auteur, non seulement ne présente aucun degré de probabilité, mais il n'existe pas. Nous venons de le voir, il est en contradiction avec les faits.

Ce que nous avons dit de l'élévation du fluide atmosphérique au pôle Nord est également applicable au pôle Sud. Tout notre raisonne-

ment regardant la première rencontre des deux colonnes d'air au 30e parallèle Nord dans les hautes régions de l'atmosphère, est également applicablo aux autres rencontres. Ainsi, même en accordant à M. Maury que le point de départ de sa théorie soit vrai ; en lui accordant que dans chaque hémisphère, au-delà des alizés, existent d'une manière permanente deux zones de calmes interrompues par une zone de vents, nous pouvons, dès co moment, affirmer que son système général de circulation ne repose sur aucun fondement solide, et qu'il ne présonte pas des apparences de réalité.

Cependant nous ne pouvons admettre non plus l'existence permanente des zones, des calmes et des vents dont nous venons de parler. Ce point de départ de tout le système des vents de M. Maury est une supposition gratuite. En effet, nous avons déjà commencé à voir que les vents polaires coupent parfois les prétendues zones des vents de S-O., la zone des calmes du cancer et celle des alizés eux-mêmes. Toutes les cartes marines nous présentent les zones des vents très-ondulées et bien souvent interrompues, ainsi que les calmes des tropiques.

Nous savons que les vents tropicaux alternent non pas quelques fois seulement, mais souvent, avec les vents polaires, en changeant de place avec eux, soit à la surface, soit dans les régions supérieures. M. Lartigue dit quo : « Lorsque les vents du N. au N-O. pour notre hémisphère et du S. au S-O. pour l'autre, sont moins forts que les vents tropicaux, ils vont souffler au-dessus de ceux-ci. » Après quelques lignes, il ajoute : « Les vents du N. au N-O. et du S. au S-O. qui soufflent au-dessus des vents tropicaux et qui sont parfois d'une très-grande force, se modèrent à mesure que ces derniers remontent vers les hautes régions; et c'est seulement lorsque ces derniers sont très-élevés que les vents polaires varient très-régulièrement. » Et plus bas : « Les vents du N. au N-O. et du S. au S-O. faiblissent souvent après avoir soufflé à la surface ; alors les vents tropicaux les remplacent, s'ils augmentent d'intensité dans les couches supérieures, et les vents du N. au N-O. dans notre hémisphère, et du S. au S-O. pour l'autre remontent dans les régions élevées. » En parlant de la fréquence de ces changements, il dit : « Ces oscillations se renouvellent surtout

en hiver, et déterminent ces mauvais temps de pluie et de vent qui sont de si longue durée entre les parallèles de 40° et de 60° dans les deux hémisphères. (LARTIGUE, pages 27-28.) »

Des changements considérables arrivent aussi à la surface. Depuis le mois d'avril jusqu'à la fin du mois d'octobre, les vents polaires soufflent presque constamment sur les côtes occidentales de l'Espagne et du Portugal. A la même époque, les vents du S-O. dominent sur les côtes méridionales des Etats-Unis et sur une partie du golfe du Mexique. Dans l'autre saison, au contraire, ce sont les vents polaires qui dominent dans ces derniers lieux, tandis que sur les côtes d'Espagne et du Portugal ce sont les vents de S-O. qui règnent à peu près autant que les vents polaires dans l'autre saison. La limite moyenne de ces deux vents est aux Açores ou entre les Açores et les Bermudes. Romme parle au long de ces vents. *(Voir Tableau des vents*, Paris 1806, vol. I, pages 45, 58, 61, 64. — LA COUDRAY, Fontenay 1786, page 49. — LARTIGUE, pages 42, 43.)

Donc, puisque les vents polaires changent souvent de place avec les vents tropicaux, puisque ces derniers peuvent disparaître et disparaissent en réalité de divers points de la surface terrestre, on voit que les zones prétendues permanentes ne le sont pas.

M. Bourgois, capitaine de la marine impériale, de retour de Chine en 1863, présentait à l'académie des sciences (séance du 20 juillet), un mémoire intitulé *Réfutation du système des vents de M. Maury*, mémoire qui a été publié dans la *Revue maritime et coloniale*, et dont M. l'abbé Moigno a donné un résumé dans ses *Mondes*. Voici comment M. Bourgois réfute M. Maury, en se servant des observations de M. Maury lui-même :

« Si, pour apprécier la véritable signification des zones représentant des calmes sur la carte des vents alizés de M. Maury, on demande aux cartes-pilote la proportion des calmes aux brises entre 20° et 25° latitude Nord, et entre 30° et 35° longitude Ouest, elles répondent que dans cet espace compris pendant toute l'année dans la zone de calmes de cet auteur, on a observé 96 calmes pour 2,483 brises de toutes les parties de l'horizon, mais principalement du N-E. : c'est une proportion de 4 pour 100 seulement.

» Dans l'océan Atlantique austral, les parages limités par les 25e et 30e parallèles, ainsi que par les 10e et 15e méridiens, sont aussi compris dans la zone des calmes.

» Les cartes-pilote de M. Manry nous apprennent cependant qne le rapport dn nombre de calmes au nombre de vents observés dans ces parages s'élève à 11 seulement pour 1,000 !

» Les cartes-pilote de l'Atlantique, en particulier, indiquent, entre 25° et 30° lat. Nord, 59 calmes pour 1,000 brises, et entre les parallèles correspondants an Snd de la ligne, 23 calmes seulement ponr 1,000 brises.

» Entre 30° et 35° lat. Nord, ce même rapport est de 51 pour 1,000, tandis que dans la zone correspondante de l'hémisphère Sud, il descend à 26 pour 1,000.

» Ce sont là ponrtant les zones où M. Maury place les calmes tropicaux. Des recherches semblables, étendues aux autres océans, conduisent à des résultats pareillement négatifs.

» Voyons maintenant ce que disent les mêmes cartes-pilote dans les régions équatoriales.

» Dans la zone Nord, où, d'après M. Manry, les calmes équatoriaux devraient régner, ces cartes nous apprennent, au contraire, qu'ils n'ont qu'une durée relative de 22 pour 1,000 en moyenne.

» Si on entre dans la région des alizés du Sud, on trouve une proportion de 12 calmes pour 1,000.

» Dans la zone comprise entre les 10e et 15e parallèles Nord, à l'Est du 130e méridien, l'influence dn continent d'Amériqne donno naissance à des vents de la partie d'Ouest, qui sont l'origine de la mousson de la côte Ouest de l'Amérique centrale, tandis qu'à l'Ouest do ce méridien dominent des vents du N-E. à l'Est. Ceux-ci règnent encore dans la zone comprise entre les 5° et 10° latitude Nord, mais on commence à y rencontrer anssi des vents de l'E-S-E. au S., et même au S-O., dans sa partie orientale, où l'on compte à l'Est du 130e méridien 119 calmes pour 1,000 observations. A l'Ouest do ce même méridien, la proportion des calmes, dans la même zone, descend à 53 pour 1,000.

» Entre l'équateur et le 5e parallèle Nord, on observe, en moyenne, 50 calmes pour 1,000.

» Enfin, entre l'équateur et le 5e parallèle Sud, les calmes sont très-rares et les vents soufflent généralement de l'E. au S-E. Si l'on consulte les chiffres indiquant la proportion des calmes aux brises pour la plupart des océans en particulier, on les trouve tout aussi éloquents que ceux que nous nous sommes bornés à indiquer; il nous paraît difficile, dès lors, de soutenir plus longtemps l'hypothèse des zones de calmes continus et permanents, *base de tout le système de circulation atmosphérique* conçu par M. Maury. Le météorologiste américain, vaincu par les faits, a déjà, au reste, rectifié ses erreurs, et s'est fait justice en détruisant de ses propres mains l'édifice enfanté par sa fertile imagination. C'est ainsi que l'on voit aujourd'hui ses fameuses zones de calmes entièrement couvertes de flèches indiquant la direction et l'intensité des vents qui les sillonnent...

» Ces calmes n'existant plus, l'entre-croisement des vents à l'équateur ne saurait avoir le moindre fondement, et de toute cette théorie et de cette géographie physique de la mer, il ne reste plus que des ruines!

» La révélation de ces faits se trouve gravée sur les cartes des vents elles-mêmes de M. Maury, et nous ne pouvons que regretter pour sa gloire que l'infatigable météorologiste les ait totalement méconnus. (*Les Mondes*, t. I, p. 761.) (1). »

Ces faits, encore mieux que par les cartes, se révèlent par les tableaux que le même M. Maury a fait dresser sur les observations qui ont servi à la construction des cartes elles-mêmes. Le lecteur

(1) Tout ce que jo dis dans cet ouvrage sur le système des vents do M. Maury était écrit depuis à peu près deux aus lorsque parut dans les *Mondes* la réfutation de co même système psr M. Bonrgois. Je me suis empressé d'envoyer copie de mon travail à M. l'abbé Moigno pour qu'il en donnât connaissance aux lecteurs des *Mondes*, s'il croyait pouvoir les intéresser. Ma lettre était datée du 25 août 1863. Un mois après uo voyant rieu paraitro, et ayant eu occasion d'écrire à M. Giraud, directeur gérant des *Mondes* à cette époque, je lui en demandai compte. Voici sa répouse : « Quaut aux deux articles (*Réfutation du système des vents*, *etc.*) que vous sviez adressés à M. l'abbé Moigno pour les *Mondes*, ils sont arrivés peudaut lo séjour de M. l'abbé en Anglelerre, et il n'a pas été possible à son retonr de les insérer, parce que nous étions alors débordés. » En rapportant ceci, je n'ai nullement l'intention de réclamer une priorité à laquelle jo ne tiens pss : je ne fais qno constater un fait.

trouvera ces tableaux au second chapitre du dernier livre de ce volume.

M. Maury ne se contente pas d'une circulation atmosphérique continue, il affirme qu'elle est aussi régulière que le courant d'un fleuve.

En parlant des vents alizés, il avait dit : « La direction de ces vents ne change pas plus que celle du *courant du Mississipi*. (Chap. I, page 13, nº 2). Sur l'ensemble de la circulation, il ajoute : L'ensemble de la circulation atmosphérique peut être comparé au courant d'un fleuve ; à chaque pas on voit dans ce dernier des remous causés par les mille irrégularités du lit de la rivière, et pourtant tous ces contre-courants n'affectent en rien la direction générale de la masse liquide ; il en est de même à l'égard de la masse totale de l'atmosphère par rapport aux vents variables que l'on observe sous diverses latitudes. On voit que les vents, si capricieux qu'ils puissent paraître, ne sont pas moins soumis à des lois aussi fixes que celles qui retiennent les astres dans leurs orbites. *(Ibid.*, page 17, nº 12.) » Ainsi l'auteur répond par de simples assertions à la difficulté très-sérieuse que les vents variables opposent à sa théorie.

Quant à nous, nous disons que Dieu a, il est vrai, établi et disposé toutes choses *in numero pondere et mensura :* tout est dans la nature soumis à des lois admirables enchaînées entre elles, et plus ou moins dépendantes les unes des autres ; mais le plus souvent ce sont pour nous des mystères impénétrables. Celle que le savant auteur indique, relativement à la circulation atmosphérique, ne nous paraît pas être une des lois établies par le Souverain Modérateur de l'univers.

Quant à la comparaison du cours des vents à celui d'une rivière, il n'est nullement permis de l'établir. Quel rapport peut-il exister entre la circulation totale de l'atmosphère et le cours d'un fleuve ?

Dans un fleuve le courant est unique, troublé seulement par des obstacles qui peuvent être regardés comme nuls, parce qu'il n'y a aucune proportion entre la résistance qu'ils opposent et la force du courant lui-même. Ce sont des obstacles locaux qui, pour ainsi dire, cessent à l'instant même qu'ils se présentent. Les vents variables, au contraire, ne sont pas produits par des obstacles fixes ou qui dis-

paraissent de suite, mais par des causes variables et changeant continuellement de place. Le courant d'un fleuve, après avoir surmonté l'obstacle, suit paisiblement son cours. Les vents variables ont mille directions différentes. Ils changent continuellement d'un jour à un autre, et même plusieurs fois dans un même jour. Il suffit d'ailleurs d'examiner un instant les cartes de M. Maury pour voir combien la direction des vents est bizarre dans les latitudes situées au delà des alizés.

Quant aux alizés, qu'il dit aussi constants que l'est dans son cours le Mississipi, nous aurons occasion de les examiner plus loin. Il est hors de doute que les alizés sont de tous les vents ceux qui présentent le plus de régularité; mais, comme nous le constaterons aussi, ces vents sont bien loin d'avoir toute la régularité qu'on leur a prêtée jusqu'ici, et surtout celle que notre illustre auteur leur suppose.

---

## CHAPITRE IV.

### SUITE DU MÊME SUJET.

M. Maury, pour confirmer son opinion sur la circulation continue et régulière d'un hémisphère à l'autre, commence par faire remarquer que dans notre hémisphère la surface de la terre est équivalente à peu près à l'étendue des mers de l'hémisphère austral. Il conclut de là que la quantité de vapeurs qui se forment dans l'hémisphère Sud doit être plus grande que celle qui se forme dans l'hémisphère Nord. Cependant, ajoute-t-il, la quantité de pluie, ainsi que le nombre des grands fleuves, est plus considérable dans ce dernier hémisphère.

Pour démontrer cette proposition, il dit d'abord que la zone des alizés S-E. embrasse trois fois plus de mer que la zone des alizés N-E.; par conséquent, les vapeurs que ces derniers enlèvent à la mer doivent être transportées à l'hémisphère Nord et réciproquement. « Un coup-d'œil, dit-il, jeté sur la planche 18 (dans laquelle sont indiquées les limites des alizés, des calmes et des moussons) montrera que la zone de l'alizé S-E. couvre environ trois fois autant de mer que la zone de l'alizé N-E. (Chap. Ier, page 22, no 22.) » Cette évaluation, comme l'a fait justement remarquer son traducteur, est probablement une erreur involontaire de M. Maury; elle est en contradiction évidente avec ce que nous lisons dans le paragraphe précédent. A la fin du paragraphe 25, il dit : « Les deux tiers seulement de ces vents (alizés N-E.) soufflent sur l'Océan ; le troisième tiers souffle sur l'Asie, l'Afrique et l'Amérique du Nord, et cette portion de son parcours ne donne lieu qu'à une évaporation relativement faible ; » et plus bas, dans le même paragraphe : « D'après notre hypothèse, les deux tiers seulement de ces alizés N-E. sont saturés de ces vapeurs, de sorte qu'il ne devrait tomber dans l'hémisphère

Sud que les deux tiers environ de la pluie qui tombe dans l'hémisphère Nord.

Nous nous en tiendrons donc à cette dernière évaluation. Mais s'ensuit-il nécessairement que la quantité de pluie de l'hémisphère Sud soit les deux tiers de celle qui tombe dans l'hémisphère Nord, par cela seul que les deux tiers de la zone des alizés N-E. sont liquides?

Le traducteur avait déjà fait remarquer que pour pouvoir l'affirmer il faudrait que les deux zones fussent égales, et que celle de l'hémisphère Sud fût entièrement liquide. Nous ajouterons de plus qu'il faudrait avoir prouvé que la quantité des vapeurs produite par les alizés est en raison directe des surfaces liquides : ou, ce qui revient au même, que l'intensité de ces deux vents ne varie jamais. Comme elle est réellement très-variable, on ne pourrait en tirer aucune conclusion rigoureuse. Nous savons que la zone des alizés parvient à sa plus grande amplitude vers le solstice d'été ; par conséquent, comme pendant tout l'été l'intensité de ce vent est plus grande, la quantité de pluie qui tombe en cette saison dans l'hémisphère Nord devrait être plus grande. Cependant, il n'en est pas ainsi : le maximum de pluie tombe dans la saison suivante lorsque la bande de cet alizé a commencé à diminuer.

M. Maury croit que la quantité de pluie de l'hémisphère Nord est de beaucoup supérieure à celle de l'hémisphère Sud.

« Les observations météorologiques, dit-il, confirment ces faits (la circulation continue et le transport des vapeurs d'un hémisphère à l'autre), en constatant que la quantité de pluie de l'hémisphère Nord est de beaucoup supérieure à celle de l'hémisphère Sud. Dans les zones tempérées, cette proportion est de 37 à 26, d'après Johnston. (*Ibid*, page 20, n° 19.) »

Nous ignorons sur quelles données Johnston s'appuie, mais nous savons que les observations de l'hémisphère austral sont très-peu nombreuses, et bornées à un nombre de lieux si restreint qu'il n'est pas permis d'en déduire une conclusion générale. Les observations faites sur mer sont plus nombreuses que les observations faites à terre, mais il n'est pas permis non plus de les faire entrer dans le calcul avec celles-ci. La quantité de pluie recueillie dans un pluviomètre fixe peut grandement différer de la quantité qui tombe en

temps égal dans un pluviomètre qui change constamment de place. Dans le cas où ce dernier marche dans la direction de la pluie, la quantité d'eau qu'il peut recevoir dans un temps quelconque sera certainement plus grande que celle qu'il recevrait s'il restait fixe.

Il me semble que pour obtenir des conclusions de quelque valeur, il faudrait pouvoir comparer entre elles les observations des deux hémisphères faites à des latitudes égales et dans des conditions, autant que possible, analogues. De plus, tout en admettant l'exactitude des résultats obtenus par Johnston, comme ils concernent les seules zones tempérées, on n'est pas en droit de les généraliser pour tout le globe, et moins encore de les appliquer aux régions des alizés.

Pour démontrer quo la quantité de pluie dans l'hémisphère boréal est plus considérable que dans l'hémisphère austral, notre auteur remarque que dans celui-là les fleuves sont plus nombreux quo dans celui-ci. Tout le monde est d'accord sur ce point. Mais il ne faut pas oublier ce qu'il signale lui-même, que dans l'hémisphèro Sud il y a à peu près autant de terre submergée qu'il y a de terre découverte dans l'hémisphère Nord. Il ne faut donc pas raisonner d'après l'eau qui forme les rivières, il faut aussi tenir compte de celle qui tombe presque continuellement dans la mer, et qui ne peut êtro évaluée.

Dans l'hémisphère Sud existe d'ailleurs le grand fleuve des Amazones ou le Maragnon, qui seul équivaut à plusieurs des grands fleuves de notro hémisphère. Mais M. Maury ne veut pas que l'Amazone soit dans l'hémisphère Sud. D'après lui, on doit le regarder comme appartenant aux deux hémisphères, parce que, dit-il, ce fleuve reçoit de l'un et de l'autre la même quantité d'eau ; et de plus il est entretenu par les pluies de la zone équatoriale et des alizés de l'Atlantique, de sorte que, selon les déplacements de cette zone aux diverses époques de l'année, ses affluents Nord ou ses affluents Sud so trouvent toujours dans une saison humide. Ainsi, ajoute-t-il, « le volume d'eau de ce fleuve près de son embouchure est à peu près le même d'un bout à l'autre de l'année. »

Nous ne pouvons accepter ces appréciations. En supposant que le volume d'eau soit toujours le même à l'embouchure, il ne s'ensuit point que ces affluents Nord et Sud donnent d'égales quantités d'eau.

La quantité d'eau que le fleuve des Amazones reçoit des deux hémisphères, non seulement n'est pas la même, mais il y a une telle différence, qu'aucune comparaison n'est possible. Dans l'hémisphère Nord, l'affluent le plus considérable du fleuve des Amazones est le Rio-Negro; mais le tribut de cette rivière est peu de chose auprès de la prodigieuse masse liquide qu'il reçoit dans son cours de 1,200 lieues par les rivières du Sud qui couvrent comme un immense réseau la vaste étendue de pays comprise entre l'équateur et le 19° de latitude et embrassent en longitude le versant oriental des Andes de Quito et du Pérou, les deux Névados et le flanc oriental des monts Parexis (1).

Pour confirmer son hypothèse de la circulation continue, du croisement des alizés entr'eux et du passage de ceux-ci dans l'hémisphère opposé sous forme de vents tropicaux, M. Maury tire encore un argument des observations microscopiques de M. Ehremberg. Ce savant naturaliste, nous dit-il, examinant au microscope des poussières transportées par les vents en différentes localités, les

(1) Les affluents de l'hémisphère Nord sont d'abord le *Rio-Bravo*, et le *Rio-Negro*. Celui-ci reçoit les eaux du premier, et par la rivière *Cassiquiare* communique avec l'*Orénoque*. A peu de distance de sa source viennent ensuite les trois rivières *Coquela*, *Coca* et *Putumayo*, qui cependant traversent l'équateur non loin de leur origine, à une distance moyenne de 25° de longitude à l'Ouest de l'embouchure des Amazones. A cet endroit, elles ne méritent pas même le nom de rivières. En dehors de celles-ci et de quelques cours d'eau encore moins considérables, les autres affluents viennent de l'hémisphère Sud, et en tel nombre, que si nous voulions enregistrer seulement leurs noms, nous en remplirions toute une page. Nous ne mentionnerons que les rivières principales.

Le fleuve des Amazones naît de la réunion de deux rivières, le *Béni* ou *Paro* et le *Tunguragua*. Chacune de ces rivières est si considérable qu'aucun des plus grands fleuves d'Europe ne peut leur être comparé. Le *Béni* a sa source dans les Andes, au 18° de latitude, à 36 lieues E-N-E de la ville d'Arica et au S-E. du grand lac Cicuito ou Titicaca, avec lequel il n'a cependant aucune communication. Au 11° de latitude, il rencontre l'*Ucayalé*, dont il prend alors le nom. Une autre rivière, l'*Apurimac*, était déjà venue se décharger dans l'Ucayalé avant que ce dernier eût rencontré le Paro. L'Apurimac naît à quelques lieues au N. d'Arequipa près du 15° de latitude, entre le lac Titicaca et l'Océan Pacifique, dont il est à peine éloigné de 15 lieues.

Le *Païtea*, après 60 lieues de parcours, vient se décharger aussi dans l'Ucayalé, à 8°, 30' de latitude.

L'autre fleuve ou le Tunguragua sort du lac Lauricocha à 10°, 30' de latitude, dans

a trouvées toutes identiques. Ces poussières, aux îles du Cap-Vert, à Malte, à Gênes, à Lyon, dans le Tyrol, étaient toutes formées « d'infusoires et de débris organiques, provenant, non d'Afrique, mais de l'Amérique du Sud et de la partie de ce continent balayée par les alizés du S-E. A l'époque de l'équinoxe du printemps, la vallée du bas Orénoque est dans sa saison sèche, les marais et les plaines y sont convertis en déserts arides, l'eau y a pour ainsi dire disparu, et les alizés peuvent facilement entraîner avec eux la poussière qui tourbillonne dans ces savanes desséchées. Or cette poussière est précisément mélangée de ces impalpables débris de matières organiques tant animales que végétales que les belles expériences d'Ehremberg ont reconnus dans la zone des calmes du Cancer... Six mois plus tard, à l'équinoxe d'automne, la position des zones, des calmes et des alizés a changé; c'est une grande partie du bassin des Amazones, qui est en proie à la sécheresse, et qui fournira à son tour, aux grandes brises de cette époque de l'année, la poussière organique, etc. (Chapitre 2. N$^{os}$ 41 et 42.) »

Nous n'avons rien à opposer à des faits, surtout lorsqu'il s'agit des faits constatés par un homme aussi éminent que M. Ehremberg, dont le nom est aujourd'hui si célèbre. Cependant tout le monde sait qu'avant

le district de Huanaco. Après un cours de 100 lieues il passe entre les Cordillières et commence à être navigable à Jaën-de-Brscamoros, où il reçoit deux autres rivières navigables aussi, le *Concipé* et le *Chiachipojas*. A 40 lieues plus loin, il reçoit la *Santiago*, qui descend des montagnes de Loxa. La *Madeïra* ou *Cajari* naît dans les Cordillières, dans la direction du Nevado-Illimani, et passe entre Oropesa et Cochabamba, où elle est appelée *Guapey* ou *Rio-Marmoré*. Elle ne prend le nom de Madeira qu'après avoir reçu plusieurs autres affluents, tels que le *Guaporé* et le *Madaleina*. A la latitude de 10°, 22', la *Madeira* peut rivaliser avec les plus grands fleuves de la terre. Son parcours est de 700 lieues, la largeur moyenne de son lit 60. Entre la Madeira et l Ucayalé se trouvent le *Javari*, le *Jutay*, le *Teffé*, le *Coari*, le *Purus* et plusieurs autres affluents. A l'Est de la Madeira, 60 lieues en ligne droite, latitude 20°, 24', après un parcours de 30 lieues, vient le grand *Rio-Tapajos*. A 60 autres lieues plus loin, toujours à l'Est de la Madeira se trouve le *Xingu*, autre affluent plus grand encore. Il prend naissance près des sources du Paraguay, et s'unit au Juruenna, après que celui-ci a parcouru 120 lieues depuis sa source, qui est au 14°, 42' de latitude.

Il nous semble que ces détails sont plus que suffisants à démontrer qu'aucune comparaison n'est possible entre les affluents Nord et Sud, soit quant au nombre, soit quant à la masse des eaux.



lui on avait fait en divers endroits de semblables expériences : mais les poussières n'avaient pas été trouvées identiques. Tantôt c'étaient des cendres volcaniques, tantôt des pollens de diverses plantes, d'autres fois des poudres rouges végétales et animales et le plus souvent des poussières inorganiques. Quelle conclusion donc pourrait-on tirer des expériences de M. Ehremberg, dans la supposition qu'elles fussent bien d'accord avec la théorie de M. Maury ? Elles prouveraient seulement que, par une heureuse ou malheureuse coïncidence, toutes les poussières qui lui ont été présentées étaient formées de débris des mêmes infusoires. Mais aurait-on pour cela le droit d'affirmer qu'elles sont venues en Europe du bassin des Amazones ou de l'Orénoque ? Ne pourrait-on pas plutôt croire que ces poussières sont originaires du bassin du Nil, presque à sec à l'époque à laquelle commence à se faire sentir le kamsin, ou bien des campagnes que ce fleuve a abandonnées après les avoir fécondées ?

Nous savons que dans les trois mois qui précèdent les inondations, le Nil est presque à sec : le peu d'eau qui reste devient verdâtre, fétide, et se remplit d'une quantité considérable de vers et d'infusoires. Cette sécheresse est déjà très-sensible à l'époque de l'équinoxe du printemps, et elle est à son maximum vers le solstice d'été. C'est à cette époque qu'arrive par enchantement le débordement mystérieux. A cette époque aussi commence à souffler le terrible kamsin. Si ce vent commence à se déchaîner avant que les eaux aient augmenté, il emporte au loin une grande quantité d'insectes et d'infusoires réduits en poussière aride. Les eaux se retirent trois mois après, c'est-à-dire, vers l'équinoxe d'automne ; précisément à l'époque où commencent à dominer les vents entre l'E. et le S-E. qui durent jusqu'à la moitié de septembre. (C. F. VOLNEY, *Voyage en Egypte et en Syrie*, t. 1er, ch. 2 et 4. — CHAMPOLLION-FIGEAC, *Egypte ancienne*, §, le Nil.)

J'ignore quels sont les infusoires trouvés par M. Ehremberg dans l'analyse des poussières en question ; j'ignore aussi quelles espèces d'infusoires vivent dans les eaux des deux grands fleuves de l'Amérique, capables de colorer en rouge la pluie ; mais je sais que dans le Nil il existe entre autres espèces l'*Euglene sanguinea*. D'après M. Ehremberg, la première plaie d'Egypte, savoir : la conversion

des eaux du Nil en sang, ne serait qu'une prodigieuse multiplication de cet infusoire (1). Si nous ne nous trompons pas, il nous semble qu'il est plus raisonnable d'admettre que ces poussières sont venues en Europe d'Afrique plutôt que d'Amérique. C'est d'ailleurs l'opinion généralement reçue. Les vents qui les transportent sont en général les vents de S-E., et les marins dans la Méditerranée les connaissent sous le nom de *poussières*, de *siroco*, vent qui vient précisément du S-E. Dans l'Océan Atlantique on les appelle poussières d'Afrique. Il est donc à croire que, même sur l'Atlantique, elles sont généralement transportées par les vents venant d'une direction entre le Sud et l'Est, et non entre le Sud et l'Ouest comme il devrait arriver si elles venaient d'Amérique.

Au reste, supposons qu'elles viennent réellement d'Amérique, pourquoi tombent-elles de préférence aux équinoxes ? Si d'un bout à l'autre de l'année les alizés S-E. trouvent à découvert la vallée du bas Orénoque ou une partie du bassin des Amazones, pourquoi ne voit-on pas ces poussières tomber à toutes les époques de l'année ?

(1) Voici ce que nous trouvons dans les recherches sur l'organisation des infusoires de M. D.-C.-G. Ehremberg (non dans le grand ouvrage que nous n'avons pu consulter, mais dans celui qui fait suite au traité pratique du microscope, par le docteur Mandl, Paris-Baillière 1839, page 417) : « Ses eaux (du Nil) sont quelquefois colorées en rouge ou en vert par des plantes *(oscillatoria)*, quelquefois par des infusoires. Le phénomène raconté par Moïse concernant le sang répandu dans le Nil et dans toutes les rivières de l'Egypte semblerait avoir été provoqué par des êtres organisés vivants. La neige rouge doit son origine à une cause semblable.

« Les infusoires qui produisent une couleur rouge sont : 1° *Euglene sanguinea*, 2° *Astasia hoematodes*, 3° *Monas vinosa*, 4° *Monas okenii*. Les couleurs apparaissent périodiquement dans la journée, selon que les infusoires montent ou descendent dans l'eau. Les phénomènes météoriques (pluie colorée) sont pareillement produits par certaines matières organiques telles que les excrétions de papillons, d'abeilles, etc. »

« Ailleurs, à la page 231, où se trouve la description de l'*Euglene sanguinea*, M. Ehremberg parle aussi du prodige du Nil, qu'il attribue à une multiplication extraordinaire de cet infusoire ; mais dans aucun endroit de cet ouvrage, il n'est question ni des Amazones ni de l'Orénoque.

M. Bourgeois, dans le mémoire cité au chapitre précédent à propos des poussières en question, en s'appuyant sur les expériences de M. Ehremberg lui-même et de M. Jos-Vellocher, dit : « L'origine des pluies de poussière du Tyrol donne lieu à un dissentiment prononcé entre ces deux savants. D'autre part, M. Ehremberg formule une proposition qui contrarie le système de M. Maury. » (*Les Mondes*, tome I^er^, page 761.)

C'est, nous répond-on, à cause des ouragans équinoxiaux qui emportent les poussières en plus grande abondance. Nous croyons au contraire que ce n'est pas parce que les ouragans équinoxiaux facilitent le transport, mais parce qu'ils en sont l'unique cause. S'il est vrai, comme M. Maury l'affirme, que « les alizés peuvent facilement entraîner avec eux la poussière qui tourbillonne dans ces savanes desséchées, » ils devraient l'abandonner toujours quelque part, et nous devrions toujours en trouver des traces sur quelque point de leur trajet.

De plus, il est certain que ces pluies de sang qu'on dit être *plus fréquentes* entre les parallèles de 17° et 25° Nord, c'est-à-dire dans la prétendue zone des calmes du Cancer, tombent non pendant le calme de l'atmosphère ou avec des vents d'une intensité médiocre, mais pendant des orages d'une intensité extraordinaire. Donc c'est aux ouragans seulement que le transport des poudres organiques doit être attribué, et non pas même à des ouragans d'une violence quelconque, mais à des ouragans exceptionnels.

Les pluies rouges sont un phénomène très-rare, et il est inexact d'affirmer qu'elles soient plus fréquentes entre le 17° et 25° Nord ; il faudrait dire qu'elles y tombent de *préférence*, puisqu'il s'écoule parfois dix et quinze ans sans qu'on y en voit de trace. Que prouvent donc les poussières en question en faveur de la théorie du savant Américain, même dans la supposition qu'elles viennent d'Amérique ? Absolument rien.

Il est vrai de dire que M. Maury ne donne pas à cet argument une grande valeur : ce n'est pour lui qu'une conjecture. Il est lui-même le premier à se poser des difficultés sérieuses dont il ne donne pas la solution : « Comment, dit-il, cette poussière ne se précipite-t-elle pas peu à peu pendant son trajet dans les régions supérieures, de manière à passer dans les alizés inférieurs du N-E. et à tomber avant la zone des calmes du Cancer ? D'où vient que, partie d'un point constant et transportée par des vents d'une direction générale et constante, elle ne vient pas toujours tomber au même point ? (Ch. II, p. 29, n° 44.) »

Si nous avons si longtemps insisté sur cet argument, c'est moins pour combattre le savant Américain que pour désabuser des admira-

teurs par trop enthousiastes. Nous ne doutons point que réellement une partie, une grande partie même, des vapeurs de l'hémisphère Sud n'arrive jusque dans l'hémisphère Nord, transportée par les vents, soit sur l'Amérique septentrionale, soit sur l'Asie, ou sur l'Europe, mais nous ne pouvons pas admettre une circulation continue telle qu'elle a été supposée par l'auteur. Cette circulation, ainsi que les preuves dont on l'étaye, sont, nous l'avons vu, en contradiction flagrante avec les données théoriques de la science, et en opposition formelle avec les faits.

Nous sommes nous-même l'admirateur sincère de cet homme si justement célèbre et si indignement traité par ceux mêmes qui auraient dû lui donner une récompense digne de ses travaux et de la nation dont il est la gloire. Mais ne prodiguons pas même l'admiration; une admiration outrée n'honore ni celui qui en serait l'objet, ni, encore moins, celui qui en serait l'auteur. Voilà pourquoi nous avons dit franchement notre opinion sur le sujet qui nous occupe. M. Maury, répétons-le, est une des plus grandes célébrités du Nouveau-Monde; mais sa célébrité ne lui vient pas de sa théorie ou *système des vents*. Ce système s'écroule : l'auteur lui-même commence à le reconnaître et à l'avouer indirectement. La célébrité lui vient de ses travaux hydrographiques. On sait que, grâce à son initiative, à ses lumières, à sa persévérance, des voies, sans comparaison plus courtes et plus sûres, sont aujourd'hui ouvertes aux innombrables vaisseaux qui sillonnent les océans du globe. Voilà la véritable gloire de M. Maury, qui rendra son nom immortel dans les annales de la marine (1).

(1) M. Maury voudra bien nous permettre d'ajouter encore quelques mots sur un passage de l'Ecclésiaste qu'il cite à l'appui de son système. Nous regrettons de voir un homme d'un si haut mérite induit en erreur par sa bonne foi. Ce passage, tel qu'il le cite, est d'abord inexact et il n'a pas, tant s'en faut, le sens littéral qu'il lui prête. Le but de Salomon n'a pas été de donner une leçon de cosmographie ou de météorologie : il parle tout simplement des vanités de la terre, et dans le texte dont il s'agit il apporte des comparaisons pour mieux les faire ressortir.

La première de ces comparaisons est tirée du mouvement diurne et annuel du soleil, la seconde du souffle du vent. Citons le texte latin : « *Oritur sol et occidit et ad locum suum revertitur, ibique renascens gyrat per meridiem et flectitur ad aquilonem* ; jusqu'ici il n'est question que du soleil : *lustrans universa in circuitu pergit spiri-*



## CHAPITRE V.

### THÉORIE DE HADLEY ET DE FRANKLIN.

La théorie des vents alizés admise aujourd'hui, ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut, repose sur deux bases, savoir : 1° la différence de température entre les pôles et les régions équatoriales; 2° la différence de vitesse de rotation des parallèles terrestres.

*tus et in circulos suos revertitur.* (Eccl., chap. 1, v. 5 et 6.) La bible de M. Maury traduit ces deux parties distinctes du texte sacré par les paroles suivantes : « *Le vent va vers le Midi et tournoie vers le Nord ; il va en tournoyant continuellement et retourne en suivant ses circuits.* » On le voit, notre auteur a été d'abord trompé par sa bible; de plus, comme nous le disions, les paroles qui ont rapport au vent ne peuvent être prises dans le sens littéral, comme si Salomon eût voulu dire qu'une masse d'air après différents détours et circuits revenait toujours à son point de départ. Car, dans cette supposition, il faudrait aussi prendre dans le sens littéral les paroles relatives au mouvement du soleil; il faudrait croire que le texte sacré parle non d'un mouvement apparent, mais d'un mouvement réel autour de la terre, ce que notre auteur ne veut certainement pas. Il n'y a donc rien dans ce passage de l'Ecclésiaste qui favorise le système général de circulation aérienne imaginé par notre savant auteur.

Nous aurions passé sous silence ce trait d'érudition biblique, si M. Maury ne s'était permis, dans la même page, des paroles de mépris pour ce qu'il appelle avec trop de légèreté une *théologie ignorante.* « Bien que la bible nous dise que la *terre* est *ronde* (ce sont ses propres paroles), cette vérité n'en a pas moins été une *hérésie* jusqu'à ce que se trouvât un navigateur qui, en accomplissant le tour du globe, confondit l'erreur d'une *théologie ignorante.* (Ch. I, n° 11.) » Nous ne croyons pas qu'il se trouve dans l'Écriture Sainte aucune page qui parle de la sphéricité de la terre, ni aucune page qui relate dans l'histoire l'hérésie en question : l'histoire nous dit, au contraire, qu'Aristote enseignait de son temps (356 avant J.-C.) la doctrine de la sphéricité de la terre. On connaît assez avec quel respect les enseignements de ce philosophe étaient reçus, surtout à l'époque à laquelle M. Maury fait allusion. Cette doctrine cependant n'est pas d'Aristote : elle date de bien plus loin. Pythagore (250 ans avant Aristote) avait professé, non seulement la sphéricité de la terre, mais la rotation autour de son axe. Il n'y avait donc pas lieu de faire une hérésie d'une doctrine connue plus de deux mille ans avant que le premier navigateur eût fait le tour du monde.

Nous allons énoncer d'une manière plus précise cette théorie, telle qu'elle est exposée par la généralité des physiciens et des météorologistes.

L'action du soleil sur les régions équatoriales est presque constamment égale d'un bout à l'autre de l'année, car cet astre s'éloignant peu de leur zénith, leur envoie ses rayons presque perpendiculairement toute l'année. L'air de ces contrées se réchauffe plus que celui de toutes les autres zones terrestres, qui sont d'autant plus froides qu'elles sont plus éloignées de la zone torride. L'air de l'équateur montera donc, et, arrivé à une certaine hauteur, il se déversera vers les pôles en courant supérieur, et le fluide des pôles descendra en courant inférieur à la surface de la terre pour y remplir les vides laissés par l'élévation de l'air équatorial. D'un autre côté, comme la vitesse des différents parallèles terrestres n'est pas la même, l'air qui afflue des pôles vers l'équateur doit être animé d'une vitesse moindre que celle de l'air équatorial. Lors donc que l'air polaire, parti des pôles, par exemple, sur le méridien de Paris, arrivera à l'équateur, le point de ce parallèle correspondant au même méridien se trouvera avoir fait du chemin vers l'orient. Il s'ensuit que l'air venant des pôles a dû couper obliquement divers méridiens d'orient en occident. La marche de cet air sera N-E. pour l'hémisphère Nord, S-E. pour l'hémisphère opposé. Telle est, à peu près, l'explication qu'on donne des vents alizés.

Mais y a-t-il réellement quelque chose de vrai dans tout cela ? Un examen sérieux va nous l'apprendre.

Pour mieux nous rendre compte des deux causes indiquées, commençons par étudier séparément les effets de l'une et de l'autre. Voyons d'abord le mouvement que l'irradiation est capable d'occasionner.

Supposons donc que la terre soit immobile et uniformément échauffée à l'équateur par une révolution diurne du soleil autour de la terre. Dans cette supposition, si la théorie est vraie, l'air équatorial s'élèvera dans le plan de l'équateur lui-même et perpendiculairement à la surface terrestre ; l'air polaire le suivra en rasant la terre pour remplir l'espace laissé par l'air équatorial qui s'élève. Ce dernier, arrivé à une certaine hauteur, doit se déverser vers les

pôles, tenant une direction diamétralement opposée au courant do surface. Celui-ci donc, dans l'hémisphère boréal, viendra directement du Nord, dans l'hémisphèro austral directement du Sud; et, par suite, le contre-courant supérieur de ce dernier hémisphère sera Nord, tandis que le contre-courant de l'hémisphère boréal sera Sud. Il n'ost pas possible que ces deux courants contraires dans chaque hémisphère et dépendants l'un de l'autre puissent avoir lieu sans qu'il existe *une circulation continue.*

Si dans cette circulation continuo le mouvement est sensible quelque part, il faut qu'il le soit partout : par conséquent, il doit l'être aussi à l'équateur.

Laissons maintenant de côté les suppositions. En réalité, ce n'est pas lo soleil qui tourne autour de notre globe, c'est notre globe qui accomplit en 24 heures une révolution autour de son axe. Quel sera l'effet du mouvement diurne sur les courants aériens que nous avons considérés? Co sera, d'après la théorie, la déviation de ces courants de leur direction premièro, mais non pas la cessation du mouvement; car deux forces concourant sous un anglo quelconque ont toujours une résultante. La circulation doit donc continuer dans le mêmo circuit comme auparavant. Le vent devrait donc exister à l'équateur et dans toute la zone torride aussi bien quo dans la région des alizés. Comment donc se rendre compte des calmes qu'on rencontre souvent vers l'équateur, en moyonne, dans une étendue do 10° de largour? Ces calmes sont inoxplicables.

Nous ne supposons pas que les calmes règnent toujours dans toute cette surface. Bien loin de là, nous connaissons qu'ils alternent souvent avec des vents de différentes directions, comme nous lo verrons dans la suite; mais il est incontestable que les calmes se trouvent sur une vaste étenduc. Or ces calmes, avec la théorie actuelle, ne peuvent avoir aucune explication sérieuse. Avancer, comme quelques savants l'ont fait, que le mouvement de l'air existe réellement, mais qu'il est impossiblo de le constater, parce qu'il est dirigé do bas en haut, me paraît une réponse puérile. En effet, si un courant ascensionnel existait réellement, un courant capable de déterminer, comme on lo suppose, le rappel de l'air polaire pourrait-il ne pas se trahir d'une façon ou d'une autre?

Les physiciens et les météorologistes, après Franklin, citent la comparaison du courant des cheminées. Cette comparaison est-elle bonne ou mauvaise ? Pour moi, elle est mauvaise ; j'y reviendrai au chapitre suivant ; mais pour ces savants qui la donnent, elle doit être bonne, autrement ils ne s'en seraient pas servis. Si on l'admet comme bonne, je dirai que, puisque dans la cheminée le courant ascendant est sensible, pourquoi ne le serait-il pas à l'équateur ? Il devrait y être même plus sensible que ne l'est l'ascension de l'air dans les cheminées ; car le courant d'air des cheminées ne s'étend qu'à une petite distance au-delà du tuyau de la cheminée elle-même, tandis qu'on prétend que l'effet de l'élévation de l'air équatorial s'étend jusqu'aux pôles ! Je dis donc que si le mouvement de l'air équatorial n'est pas sensible, c'est qu'il n'y est pas (tel du moins qu'on le prétend). Et, qu'il y soit ou non, s'il n'est pas sensible, il nous semble évident que l'air des pôles ne pourra nullement être rappelé vers l'équateur.

Mais accordons pour un instant que le mouvement ascensionnel existe réellement et qu'il soit capable de déterminer un courant de surface dans la direction des alizés, ces vents devraient avoir une intensité d'autant plus grande que les parages où il soufflent sont plus rapprochés de l'équateur. Or, c'est tout le contraire qui a lieu. Les observations nous montrent, comme nous aurons occasion de le constater ailleurs, que l'alizé, dans les deux hémisphères, est plus faible vers sa limite équatoriale. Ce fait est donc en désaccord formel avec la théorie.

Qu'on ne dise pas non plus que la théorie ne demande pas une augmentation d'intensité de ce vent vers l'équateur, car c'est précisément ce que les partisans de la théorie de Hadley affirmaient devoir arriver, et la vérification de ce fait, qu'ils croyaient réellement exister, était dans leur esprit une confirmation de l'hypothèse elle-même. La rotation de la terre, d'après la théorie, n'est qu'une composante, elle n'est que la cause de l'inflexion du vent dans les directions N-E. pour l'un, S-E. pour l'autre hémisphère. La cause principale du vent lui-même, la cause qui engendre le rappel de l'air polaire étant à la zone torride, c'est vers cette région que le vent alizé devrait être le plus prononcé.

J'ajoute que non seulement il doit y être plus prononcé par l'action de la chaleur, mais aussi, et plus particulièrement, par l'action de la composante. En effet, d'après la théorie, selon que l'air descendant des pôles s'avance vers l'équateur, il trouve l'air des parallèles successifs animé d'une vitesse d'autant plus grande que ces parallèles sont plus rapprochés de l'équateur lui-même ; le maximum de différence de vitesse se trouvant à l'équateur, c'est là que l'alizé devrait avoir sa plus grande intensité. S'il n'en est pas ainsi, la théorie est en défaut.

Et puisque nous avons commencé à parler de la rotation terrestre, entrons plus avant dans cette question : nous reviendrons plus loin sur l'action de la température.

On attribue donc, comme il a été dit, les directions N-E. et S-E. des alizés des deux hémisphères à la différente vitesse de rotation des parallèles terrestres. En effet, si l'on considère l'air de différentes latitudes sur ces latitudes elles-mêmes, il est évident que la vitesse de chaque parallèle terrestre étant différente, l'air qui les enveloppe est animé aussi d'une vitesse différente. Ainsi, que par hasard, une masse de ce fluide vienne tout-à-coup à être transportée d'une latitude élevée à une latitude plus basse sans passer par les intermédiaires, abandonné à lui-même, cet air ne pourra avoir au premier instant d'autre vitesse de rotation que celle de la latitude qu'il occupait. Il est hors de doute que toutes les masses d'air qu'il rencontrerait dans sa marche seraient par lui heurtées dans une direction entre le S. et l'E. (j'entends parler de notre hémisphère). Cet air recevrait à son tour un choc en direction opposée entre le S. et l'O. Ceci est hors de toute contestation.

Il est vrai aussi que dans la supposition que l'air équatorial s'élève sous forme de courant et avec une intensité capable de faire affluer vers cette région l'air polaire, ce dernier, parti d'un méridien quelconque, ne pourra en descendant suivre ce méridien ; car quand cet air sera arrivé sur l'équateur, le méridien aura fait plus ou moins de chemin vers l'Est : l'air donc venant du Nord paraîtra marcher vers le S-O. et celui venant du Sud paraîtra marcher vers le N-O. Ceci ne peut pas non plus être contesté.

Ces deux faits donnent à la théorie actuelle des alizés une telle

apparence de vérité, qu'elle devait nécessairement séduire les esprits, surtout à l'époque où elle a été proposée; car alors les faits qu'on possédait paraissaient conclure entièrement en sa faveur. Il en est bien autrement aujourd'hui. Nous allons voir que cette théorie, malgré son dehors séduisant, ne supporte pas l'analyse.

Faisons remarquer tout d'abord que les deux faits indiqués tout-à-l'heure sont hypothétiques, c'est-à-dire qu'ils ne sont vrais que dans le cas où les suppositions faites se réalisent. L'air polaire ne descendra vers l'équateur en coupant obliquement les méridiens que dans la supposition où l'air équatorial s'élèverait réellement et avec assez de force pour déterminer un rappel d'air polaire; car, dans le cas contraire, la rotation terrestre n'exercerait aucune influence sur cet air, qui resterait en repos, tournant seulement avec la terre sur la place qu'il occupe. Or, nous avons déjà commencé à voir que l'air équatorial non seulement ne s'élève pas avec force, mais qu'il ne s'élève nullement. Nous le verrons encore mieux au chapitre suivant, que nous consacrerons en entier à l'étude de cette question. Occupons-nous ici de l'effet de la rotation terrestre.

Nous avons dit que si une masse d'air polaire était brusquement transporté sur une latitude inférieure, cet air, au premier instant, ne pourrait être animé que de la vitesse du parallèle qu'il occupait. En est-il de même de l'air polaire qui descendrait vers l'équateur en passant successivement par les divers parallèles? C'est ce qu'on prétend, car on croit que sans cela on ne pourrait pas se rendre compte des directions N-E. et S-E. des alizés. Mais on n'a pas pris garde que cette manière de voir conduit à une conséquence inattendue qui est bien éloignée d'être favorable à la théorie.

Considérons le vent alizé au 35ᵉ parallèle Nord : c'est là en moyenne l'extrême limite de ce vent, ou, en d'autres termes, c'est là qu'on commence à le rencontrer en venant du Nord. Supposons que la masse d'air commence à se mettre en mouvement vers l'équateur seulement à cette latitude, cet air arrivera sur les parallèles successifs en marchant toujours vers l'Ouest avec une vitesse relative égale à la différence entre la vitesse qu'il avait à son point de départ et celle des parallèles qu'il rencontre. Quelle serait la vitesse

relative de cet air au moment où il arrive à l'équateur? Nous allons le voir.

Supposons que la terre soit une sphère parfaite, et que la valeur de la circonférence soit celle de 40 000 000 m. que l'on prend ordinairement. La vitesse d'un point quelconque sur l'équateur sera de 463 m. pour chaque seconde; celle de la latitude de 35° sera égale à 379 m. (1). Au moment où cet air arrive à l'équateur, les objets qu'il rencontre lui feront éprouver un choc dans la direction de la rotation terrestre, c'est-à-dire de l'O. à l'E. L'effet sera comme si les objets eux-mêmes étaient heurtés en direction contraire, c'est-à-dire de l'E. à l'O. Mais ce choc serait des plus terribles et des plus effrayants. Il serait plus violent que celui des ouragans qui abattent les édifices et qui transportent les forêts.

On calcule la vitesse des ouragans les plus impétueux à 45 m., tandis que le vent en question aurait une vitesse de 86 m. par seconde. Telle est, en effet, la différence des vitesses de l'équateur et du 35e parallèle. Or si la direction de cet espèce de vent est à peu près celle de l'alizé, son intensité est bien loin de pouvoir lui être comparée. Le vent alizé, d'après La Coudrais, n'a en moyenne qu'une vitesse de dix pieds par seconde (un peu plus de trois mètres), c'est-à-dire à peu près l'intensité de la petite brise. Le maximum de son intensité dépasse rarement l'intensité de la bonne brise, dont la vitesse est de 12 m. par seconde. Non seulement l'ouragan ne règne pas à l'équateur, mais, comme nous l'avons déjà fait remarquer, on n'y trouve pas même l'alizé. Ce vent, lorsque sa limite Nord est au 30e de latitude, ce qui a lieu pendant l'été, commence à disparaître çà et là au 14° parallèle.

Nous nous sommes borné à comparer la vitesse de l'équateur avec celle du 35° parallèle, car c'est là que l'alizé a la limite Nord.

(1) La circonférence terrestre étant de 40 000 000 de mètres, et le nombre des secondes d'une entière révolution sidérale étant de 86 400, la vitesse de chaque seconde sera exprimée par $\frac{40\,000\,000}{86\,400} = 462^m\,96$, à peu près 463 m. La valeur de la rotation pour la latitude du 35° sera exprimée par cette même vitesse dans le co-sinus de la latitude (cos. 35° = 0, 81915...) : on aura donc

$$\frac{40\,000\,000 \times 0,81915}{86\,400} = 462^m,96 \times 0,81915 = 379^m\,23.$$

la plus reculée. Si nous faisons descendre l'air des latitudes plus élevées comme la théorie le suppose, la différence de vitesse avec l'air équatorial serait telle que la terre en serait bouleversée. Les objets combustibles situés à sa surface s'enflammeraient par le frottement, et tous les autres objets en seraient balayés et broyés contre les montagnes. La croute terrestre elle-même ne saurait résister au choc terrible du courant polaire.

Ce sont là les conséquences absurdes auxquelles nous conduit la supposition que la direction N-E. et S-E. du vent alizé est l'effet de la rotation terrestre.

On nous dira qu'une action compensatrice doit nécessairement intervenir pour empêcher les effets désastreux dont nous venons de parler, puisque ces effets n'ont pas lieu. Mais il nous semble qu'on pourrait conclure, au contraire, avec plus de raison, que si les effets désastreux auxquels la théorie nous conduit n'ont pas lieu, c'est que la rotation de la terre n'est pas la cause de l'inflexion des alizés.

Avant de terminer ce chapitre, nous ferons une dernière réflexion sur le mouvement d'une masse d'air d'un parallèle à un autre. Le développement des degrés terrestres n'étant pas le même pour tous les parallèles, une couche d'air qui des latitudes élevées vient vers l'équateur ne peut pas conserver son volume ; cet air doit nécessairement se dilater. Il sera, par conséquent, impossible de le rapporter au méridien de départ, et, par là même, la direction du mouvement de cet air sur les divers parallèles qu'il traverse ne pourrait être appréciée.

Nous avons dit qu'il faut nécessairement faire descendre l'air du 80e ou du 70e, ou tout au moins du 60e parallèle : or, les rapports entre le développement de ces parallèles et le développement de l'équateur sont de $\frac{5}{25}$, $\frac{9}{25}$, $\frac{12}{25}$. Si donc l'air descend seulement du 60e parallèle, arrivé à l'équateur il devra nécessairement occuper une surface à peu près double de celle qu'il occupait dans ce parallèle. S'il vient du 70e, la surface qu'il occupera à l'équateur sera à peu près de $\frac{2}{3}$, et de $\frac{4}{5}$ s'il descend du 80e parallèle. Sera-t-il possible, après cela, d'apprécier la direction de cet air, même dans la supposition qu'il ne se mélange pas au fluide qu'il rencontre dans son chemin ? A plus forte raison, il sera impossible de le faire s'il se

confond plus ou moins le long de sa route avec l'air des latitudes qu'il traverse. Et il doit nécessairement se confondre, soit à cause des différentes températures, des différences de pression et des irrégularités de la surface terrestre dans les divers parallèles. Toutes ces causes, venant à concourir d'une manière très-irrégulière, feront rester en arrière tantôt une partie, tantôt une autre de la masse en mouvement. Celle-ci ne pourra conséquemment pas conserver une direction déterminée.

On le voit, la théorie actuelle n'est pas assise sur des bases solides ; tout ce qu'elle affirme touchant le mouvement de l'air polaire est exprimé d'une manière trop vague ; rien n'est indiqué d'une façon bien nette ; et, de plus, rien n'est appuyé sur des preuves sérieuses. La théorie veut que le courant d'air des alizés descende des régions polaires, mais on n'a pas indiqué de quelle latitude, et il n'était pas possible de l'indiquer. Cet air ne vient certainement pas du 35e parallèle, parce que, d'abord, on affirme qu'il descend des régions polaires, et ensuite parce qu'on ne pourrait expliquer pourquoi au commencement de sa course le vent a une direction N-E. Il faut que l'air vienne nécessairement de bien plus haut, c'est-à-dire, du 80e ou 70e, ou au moins du 60e parallèle. Mais alors, pourquoi la limite polaire de l'alizé N. ne dépasse-t-elle jamais le 35e parallèle ? Comment expliquer les calmes qui se rencontrent au-delà de cette limite, et les vents plus ou moins contraires qui existent au-delà de ces calmes ?

D'un autre côté, la théorie ne nous dit pas pourquoi le vent alizé ne se maintient pas toujours également incliné ? On a bien indiqué l'influence des terres, mais on l'a fait d'une manière générale, sans entrer dans aucun détail. Sans doute l'influence des terres est manifeste, mais on n'a pas dit pourquoi, dans les mers ouvertes, l'alizé s'approche de l'E. et tend à devenir parallèle à l'équateur, tandis qu'en même temps, et à pareilles latitudes dans les mers resserrées, il s'approche plus du N. ? A-t-on expliqué jusqu'ici, d'une manière satisfaisante, le changement de l'alizé en mousson, c'est-à-dire en un vent de direction plus ou moins contraire ? Comment l'effet de la rotation terrestre est-il détruit par le passage du soleil en déclinaison boréale ? Pourquoi le vent alizé, dans les mers ouvertes, con-

serve-t-il presque constamment la même direction ? Si la rotation avait réellement quelque influence sur la direction du vent alizé, cette influence devrait être beaucoup plus sensible dans les mers ouvertes que partout ailleurs, car il n'existe là aucune cause capable de contrarier cette action : ce serait donc là, surtout, que le vent devrait avoir la direction N-E. ou S-E., selon les hémisphères. C'est pourtant le contraire qui a lieu : l'alizé, comme nous venons de le dire, et comme nous le constaterons ailleurs, tend à souffler parallèlement à l'équateur. La rotation terrestre n'est donc pas la cause de l'obliquité de ce vent au plan de l'équateur lui-même.

---

## CHAPITRE VI.

### SUITE DU MÊME SUJET.

A l'appui du principe fondamental de la théorie de l'alizé (savoir, l'élévation de l'air équatorial par le rayonnement du soleil), Franklin apporte comme un argument puissant l'élévation de l'air de l'intérieur des cheminées. Mais, ce fait qui aura, par hasard, suggéré au philosophe américain l'idée de la théorie elle-même, se produit-il lorsque l'air cesse d'être dans des conditions identiques à celles des cheminées?

Les phénomènes qui ont lieu sur une masse d'air, pour ainsi dire détachée du reste de l'atmosphère, qui s'échauffe sans pouvoir communiquer sa température à l'air latéral, sont bien différents des phénomènes qui se passent sur une colonne d'air d'une base très-ample, pouvant librement transmettre aux couches latérales et supérieures le calorique dès le premier moment qu'elle le reçoit.

Si dans une chambre contenant une masse d'air très-échauffé vis-à-vis de l'air du dehors, on pratique des ouvertures au moyen desquelles l'air interne et extérieur puissent se mettre en communication, il est évident que ce dernier entrera avec force par l'ouverture inférieure et il obligera l'air intérieur à monter et à sortir par l'autre ouverture. Il se produira un vent plus ou moins impétueux, selon que la différence de la température des deux masses d'air est plus grande, et selon que, jusqu'à une certaine limite, l'orifice de sortie est plus petit que l'orifice d'entrée. Mais lorsqu'il s'agit d'un air libre, lorsque l'air soumis à l'action calorifique est en communication avec d'autres masses d'air auxquelles il peut, dès le premier instant, céder une partie de sa chaleur, le phénomène sera-t-il le même? Lorsque deux masses fluides ne sont pas en communication par de simples orifices, et lorsque l'équilibre de pression ne vient pas à manquer

d'un seul côté seulement, mais de toutes parts, lorsque les deux airs peuvent aisément se mêler et se confondre, le courant prétendn sera-t-il possible ? Nous ne le croyons pas. Non seulement il paraît impossible dans les circonstances naturelles, mais même dans la supposition d'autres circonstances les plus favorables qu'on puisse imaginer.

Supposez que, durant le jour, la zone torride s'échauffe considérablement elle seule ; supposez que sa température ne puisse d'aucune façon se transmettre au-delà des limites de l'irradiation directe ni par émission, ni par le mouvement de l'air lui-même ; supposez aussi que l'excès de température entre l'air de la zone torride et l'air des régions polaires soit aussi grand que possible ; et, de plus, supposez encore que la capacité calorifique reste invariable, même lorsque la pression atmosphérique diminue : je dis que malgré toutes ces suppositions favorables, il ne pourra se former entre les pôles et l'équateur aucun courant bien établi.

En effet, quoique l'air plus chaud tende à s'élever, et s'élève réellement, il ne faut pas cependant oublier qu'une couche d'air ne monte pas uniformément et parallèlement à la surface terrestre, comme le ferait une surface rigide poussée en haut par un ressort qui se détend. Les molécules de l'air montent nécessairement sans ordre ; par conséquent celles qui affluent pour y prendre leur place y viennent aussi sans ordre.

On dit qu'une masse d'air de la zone torride, se dilatant, soulève la colonne atmosphérique superposée et l'oblige à se déverser vers les pôles. Cette assertion se trouve, en effet, dans tous les traités de météorologie ; mais on y chercherait en vain les preuves. On serait embarrassé ponr en donner une quelconque. Mais supposons, pour un instant, que les couches d'air s'élèvent parallèlement sans qu'aucune molécule sorte de la couche qu'elle occupe ; comme la colonne atmosphérique superposée lui oppose par son poids une résistance, il s'ensuivra tout au plus une compression qui ne pourra pas s'étendre aux régions très-élevées de l'atmosphère, mais qui doit nécessairement être bornée à une hauteur peu considérable. Car l'air chaud, dont on dit qu'il force les couches supérieures à s'élever, à peine a-t-il changé de niveau qu'il perd une partie de son élasticité ; il s'élèvera

un peu, mais bientôt après, ne possédant plus aucun excès de tension sur la couche qu'il traverse, il doit nécessairement s'arrêter dans sa marche.

J'ai dit qu'une molécule ne peut s'élever que peu par l'action de la température, car la différence de température entre une couche et l'autre immédiatement superposée ne peut être que fort petite.

Mais, répétons-le, les molécules de l'air ne montent pas d'une manière uniforme. Aussitôt qu'une d'elles a acquis un peu plus de chaleur que les molécules environnantes, elle devient spécifiquement plus légère. Elle monte non pas en soulevant la colonne qu'elle supporte, mais en s'échappant par les espaces qui naturellement existent entre les molécules elles-mêmes, puisqu'il ne nous est pas permis de les supposer toutes en contact. Donc, au même instant qu'une molécule s'élève, celles qui l'environnaient, ainsi que la molécule qui était immédiatement au-dessus d'elle, se meuvent toutes vers la place que la première a quittée ; et la molécule supérieure en se déplaçant doit nécessairement troubler l'équilibre de la couche d'où elle descend. Il se produira dans l'air non un mouvement régulier, mais une agitation confuse, incapable de donner lieu à un courant déterminé. Tel est, si nous ne nous trompons pas, l'effet que l'élévation de la température peut occasionner dans l'atmosphère, même dans la supposition de toutes les conditions favorables que nous avons indiquées plus haut (1).

Qu'on ne dise pas que la différence de température entre l'équateur et les pôles étant considérable, l'air de ces dernières régions, devenu par cela même plus pesant, doit se porter vers la zone torride pour remplir le vide laissé par l'élévation de l'air équatorial. Nous répondons à cela que l'air des pôles, quoiqu'il soit plus froid et, si l'on veut, plus pesant (ce qui pourrait être contesté), il ne s'ensuit pas

(1) Nous n'entendons pas affirmer qu'il ne puisse exister jamais dans l'atmosphère aucun courant produit par la différence de température. Nous admettons que très-souvent l'atmosphère est agitée par des courants causés par une différence de température, mais cette différence doit être considérable et arriver brusquement.

que la pression de l'air polaire se fasse sentir jusqu'à l'équateur, ni que la diminution de densité et l'élévation de l'air équatorial déterminent un rappel du même fluide sur toute la surface terrestre jusqu'aux pôles. Car l'origine et la cause du mouvement de l'air polaire n'est pas dans la différence de température des deux airs des pôles et de l'équateur, mais uniquement dans le mouvement de l'air équatorial. Or, ce dernier ne se mouvant pas sous forme de courant, il est incapable de donner lieu à un flux continu d'air polaire.

En outre, si ce mouvement pouvait avoir lieu, il ne se ferait que très-lentement, car les couches successives de l'air de l'équateur ne diminuent pas de température d'une manière brusque, mais insensiblement ; leur différence de calorique étant très-petite, le mouvement ascensionnel sera aussi très-lent.

En admettant même que l'air de l'équateur s'élève avec force, serait-il sérieux de supposer que son mouvement s'étend ou se fait sentir jusqu'aux régions polaires ? Non, car dans cette supposition il s'ensuivrait d'abord que la colonne d'air devrait se comporter comme si sa capacité calorifique était invariable, et il devrait marcher comme s'il n'était pas élastique. Il s'ensuivrait, en outre, que tout mouvement qui se produit dans un point quelconque de l'atmosphère devrait se faire ressentir sur toute l'enveloppe gazeuse, ce qu'on ne pourrait pas admettre ; car nous savons que les ouragans et les cyclones eux-mêmes ont des limites au-delà desquelles l'air reste tranquille. Donc même, en supposant que le mouvement de l'air engendré par la température arrivât, non d'une manière confuse comme il arrive réellement, mais en ligne droite, la température des régions équatoriales, quoique elle fût très-haute, ne pourrait donner lieu à aucun mouvement de l'air polaire.

Les faits d'ailleurs sont là. Nous avons vu qu'en moyenne, le calme règne à l'équateur. Qu'arrive-t-il vers les pôles ? Certes, si la différence de calorique produisait l'effet qu'on lui attribue, dans les régions polaires nous devrions trouver toujours des vents, et des vents descendant surtout, lorsque le soleil se trouve dans l'hémisphère opposé. Ces vents, il est vrai, s'infléchiraient plus ou moins à cause des montagnes de glace et des terres élevées qu'ils

rencontreraient sur leur chemin, mais ils devraient toujours être dirigés vers l'équateur. Les observations que nous ont laissées les explorateurs de ces hautes latitudes nous font voir les vents aussi variables que partout ailleurs. Parfois ils sont faibles, souvent ils se déchaînent avec l'impétuosité de l'ouragan ; plus souvent encore toute espèce d'agitation disparait; il y règne le silence le plus absolu, ou plutôt une vraie désolation de la nature.

Nous ne croyons pas nécessaire de prouver cette vérité par une longue suite de citations : la variabilité des vents, dans les régions élevées, est généralement connue, ainsi que les calmes des régions hyperboréennes. Nous nous contenterons de rapporter un seul passage du Norwégien Jean Eggède, fondateur de la seconde colonie du Groënland.

Cet intrépide missionnaire, qui pendant quinze ans a parcouru ces terres arctiques, nous a laissé des détails précieux sur leur climat. Je citerai ses propres paroles : « Les vents y sont (dans le Groënland) aussi variables que partout ailleurs... Il arrive quelquefois que le vent souffle avec impétuosité entre les îles voisines et sur les côtes pendant que la mer est parfaitement calme. D'autrefois, au contraire, la mer est furieuse alors qu'on ressent à peine sur le littoral quelques souffles légers. Souvent il y a absence complète de vent, et dans ces intervalles il règne au Groënland un silence de mort. Ce silence effrayant, qui n'a rien du calme harmonieux de nos campagnes, augmente à mesure qu'on s'avance vers le Nord du pays. Dans les hautes terres arctiques il y a quelque chose qui jette l'étranger dans une espèce de stupeur voisine de l'effroi. *(Histoire naturelle et description de l'air de l'ancien Groënland*, traduite du Danois par Partenay-des-Roches. Copenhague et Genève 1763.) »

Mais voyons par un examen direct s'il est possible qu'une masse d'air chaud s'élève dans les hautes régions de l'atmosphère. A cet effet, commençons par jeter un coup d'œil sur la loi de diminution de calorique dans les couches successives de l'atmosphère. Cette loi, on le sait, n'est pas la même pour toutes les zones terrestres. Nous déduirons la moyenne, d'après les observations faites à l'équateur ou dans les régions équatoriales par Humbold, car nous devons examiner précisément l'élévation de l'air équatorial.

Ces observations sont les suivantes :

| LIEUX D'OBSERVATION. | RÉSULTAT. |
| --- | --- |
| Sur le Chimboraço........................ | 218m |
| Sur divers sommets des Andes............... | 191 |
| Sur divers plateaux des Andes............... | 243 |
| Sur divers endroits des Indes méridionales.... | 177 |
| Au Nord de l'Indoustan...................... | 226 |
| MOYENNE..................... | 211 |

Donc, dans les régions équatoriales, la température de la couche qui se trouve à 211 m de hauteur diffère d'un seul degré de la surface. On dit que la loi de la diminution est constante à l'équateur le jour aussi bien que la nuit, à cause de la zone des nuages qui y retient le calorique ; c'est pourquoi, ajoute-t-on, la diminution est moins rapide que dans nos climats. Quoi qu'il en soit, la moyenne que nous prenons n'est pas exagérée, elle est peut-être en deçà de la réalité (1). Cela posé, supposons qu'un volume d'air des couches inférieures s'élève en direction perpendiculaire et sans que ses molé-

(1) Nous croyons devoir faire remarquer ici qu'on ne peut regarder la loi de diminution comme constante à l'équateur, ni pendant le jour, ni pendant la nuit ; encore moins on ne peut supposer que cette loi soit identiquement la même pour le jour et pour la nuit. Les observations que nous possédons sont en trop petit nombre pour en déduire une loi générale et constante. Et encore, aucune de ces observations n'a été faite pendant la nuit. Des observations de cette nature viennent d'être exécutées en Angleterre par M. Glaisher : elles tendent à prouver que, dans certaines circonstances, la loi de diminution, pendant la nuit, est renversée. En serait-il de même dans l'équateur ? il ne nous est pas permis de formuler une opinion quelconque. Cependant, comme le résultat des expériences du savant météorologiste Anglais ne peuvent ne pas intéresser nos lecteurs, nous croyons devoir les indiquer ici.

Voici ce que nous trouvons dans l'analyse des communications faites dans la réunion d'Exeter, du 18 août 1869, à la section des sciences physiques de l'Associa-

cules se séparent et se mêlent aux molécules des couches qu'elles traversent, et, de plus, supposons que la capacité calorifique reste invariable. Nous allons voir que, même dans toutes ces suppositions qui mettent l'air dans les conditions les plus favorables à l'hypothèse des courants, cet air ne pourra atteindre les couches élevées de l'atmosphère.

Le coefficient de dilatation de l'air, d'après les expériences successives de Lambert et de Gay-Lussac, est de $\frac{1}{267}$ de son volume primitif à zéro : 267 litres d'air à zéro se dilateront donc d'un litre pour chaque degré de température ; la densité diminuera aussi dans la même proportion. En prenant, par conséquent, pour unité de densité $\frac{267}{267}$, si sa température venait à augmenter de 30°, la densité de cet air serait exprimée par $\frac{267}{267+30}$ dans la supposition que la pression qu'il supporte avant et après soit restée invariable.

Supposons que telle soit précisément, sous l'équateur, la densité de

tion britannique pour l'avancement des sciences. (*Mondes*, 2e série, tome XXI, page 413).

« Dans certaines ascensions, à 1,000 pieds de hauteur, on a constaté une température de 10 degrés inférieure à celle de la surface de la terre, et dans d'autres, à 1,000 pieds de terre, on n'a pu constater aucune différence. Ainsi, les observations faites dans le voisinage du sol, au moyen d'un ballon libre, ont prouvé qu'il y a de grandes variations dans la loi de l'abaissement de température proportionnelle à l'accroissement d'élévation. On a trouvé des différences notables, mais subordonnées à l'état clair et nuageux du ciel ; les indications ont montré, en même temps, que la proportion est différente aux différentes heures du jour. Ces indications ont reçu une confirmation partielle d'une descente accidentelle de ballon pendant le coucher du soleil ; à peine si l'on a pu constater le plus léger changement de température à partir d'un demi-mille de la terre. En conséquence, il semblait possible que si l'on pouvait faire des ascensions de nuit, la température au lieu de décroître viendrait à croître à quelque distance de la terre. Cette conséquence s'est trouvée vérifiée par les deux seules ascensions nocturnes qu'a faites M. Glaisher, dans chacune desquelles la température s'élevait à mesure qu'on s'éloignait de terre. Ainsi, les résultats des ascensions en ballon venaient détruire nos opinions reçues et mettre en suspicion les lois de la réfraction ; toutefois, les expériences étaient en trop petit nombre, surtout les expériences de nuit, pour en déduire des conséquences certaines.

» Le grand ballon captif, avec ses belles et puissantes machines, récemment établi à Ashburnam-Park, était merveilleusement approprié à ce genre d'expérimentation. M. Giffard, son propriétaire, le mit à la disposition de M. Glaisher pour toutes les expériences qu'il voudrait faire. Ce ballon pouvait s'élever par un temps calme à 2,000 pieds de hauteur. M. Glaisher y a fait une série de trente expériences. Chacune consistait à relever les degrés Fahrenheit pour la détermination de la

l'air au niveau de la mer et à la pression normale de 760$^{mm}$, nous aurons $\frac{267}{267+30} \times \frac{760}{760} = 0,8989$.

Or, je dis que ce volume d'air ne pourra s'élever qu'à la hauteur de 20$^{m}$ tout au plus, parce que l'air qui se trouve à la hauteur de 21$^{m}$ possède une densité moindre que la sienne. En effet, puisque la température diminue d'un degré par 211$^{m}$ d'élévation, à la hauteur de 21$^{m}$, le calorique de l'air aura diminué de $\frac{1}{10}$ de degré; en sorte que si la pression, à cette hauteur, n'était pas changée, la densité serait exprimée par $\frac{267}{267+29,9}$. Mais, comme à 21$^{m}$ d'élévation correspond, dans le baromètre, un abaissement de 2$^{mm}$ à peu près, la densité sera indiquée par

$$\frac{267}{267+29^{\circ},9} \times \frac{760-2}{760} = \frac{267 \times 758}{296,9 \times 760} = \frac{202386}{225644} = 0,8968,$$

quantité de 0,0021 inférieure à celle que nous avons obtenue pour la densité de l'air au niveau de la mer. C'est là tout le mouvement

température et de l'humidité de l'atmosphère à chaque centaine de pieds d'élévation.....

» Sans entrer dans de nombreux détails, constatons rapidement les résultats généraux établis par M. Glaisher.

» Par un ciel pur, la diminution de température avec l'élévation est plus grande au milieu du jour, elle va jusqu'à 5°,10 (2°, 8 C.), pour 1,000 pieds; elle va toujours diminuant avec le jour, et vers le coucher du soleil, il n'y a plus que peu ou point de différence. C'est près de terre que la diminution de température est le plus sensible; elle dépasse 1 degré (0°, 56 C.), pour les premiers 100 pieds, tandis que de 900 à 1,000 pieds, elle n'atteint pas un demi-degré. Par un temps nuageux, le décroissement pendant les heures du jour est un peu moins marqué par un ciel serein; le décroissement le plus sensible est toujours le plus rapproché du sol. Mais, au déclin du jour, vers le coucher du soleil, le décroissement n'est plus que de 0°, 5 (0°, 28 C.), pour chaque centaine de pieds, jusqu'à 1,000 pieds de hauteur. Ces résultats prouvent que le degré d'abaissement de température, avec l'élévation, varie suivant le moment du jour. Ainsi se trouvent confirmées les indications fournies par les ascensions en ballon libre, indications qui reçoivent par là un plus grand degré de certitude...

» Comme exemple des variations de température aux niveaux les plus bas, nous donnerons les chiffres suivants, recueillis par un temps clair: — à 3 heures, température du sol, 70°, 2 (21°, 45 C.), à 1,000 pieds, 65°, 9 (18°, 5 C.); — à 7 heures, près du sol, 70°, 9 (21°, 61 C.), à 1,000 pieds, 67°, 9 (19°, 94 C.). Ainsi, pendant que sur terre il y avait un abaissement de température de 5°, 3 (2°, 94 C.), de 3 à 7 heures, à 1,000 pieds de hauteur, l'abaissement n'était que de 0°, 9 (0°, 5 C.)..... »

Si des faits de cette nature étaient constatés dans les régions équatoriales, surtout dans les parages où dominent les calmes, ces faits seraient une difficulté de plus contre la théorie actuelle.

que la température peut engendrer, et seulement dans le cas où l'ascension de l'air s'accomplirait dans les conditions les plus favorables qu'on puisse supposer.

Donc, puisque le fluide équatorial ne peut s'élever qu'à la faible hauteur de $20^m$, il est évident que non seulement il ne peut donner lieu à un flux d'air polaire, mais qu'il est même insuffisant à occasionner un courant de surface quelconque tant soit peu sensible. Par conséquent, il est évident aussi que le vent alizé n'est nullement expliqué par l'ascension prétendue de l'air des régions intertropicales, pas même dans le cas où les suppositions faites se réaliseraient. Mais aucune de ces suppositions n'est possible. L'air ne s'élève pas perpendiculairement; ses molécules s'éloignent les unes des autres et se mélangent avec les molécules des couches qu'elles traversent, et, par là, elles cèdent une partie de leur calorique.

De plus, la capacité calorifique augmente avec l'élévation. Deux masses d'air à différentes hauteurs et à égales indications thermométriques ne possèdent pas la même quantité absolue de calorique : la masse plus élevée en possède plus que l'autre. Donc, une masse d'air, abstraction faite de toute autre raison, par cela seul qu'elle s'élève, doit se refroidir, puisque la capacité calorifique croît plus rapidement que la diminution de pression. Notre air équatorial ne pourra pas même atteindre la hauteur de $20^m$.

Ceci nous conduit tout naturellement à une autre considération : c'est que l'air des hautes régions, en descendant vers les couches inférieures, doit s'échauffer. Si cet air pouvait occasionner un vent, ce ne serait pas un vent frais comme l'alizé, ce serait un vent d'autant plus chaud que la région d'où on fait descendre cet air est plus élevée.

M. Saigey est le premier et le seul qui ait jeté quelques doutes sur les effets qu'on attribue à l'action de la chaleur. Il fait voir que quand l'air reposant sur le sol est à 30° de température et à $760^{mm}$ de pression, l'air qui se trouve à la hauteur de $5{,}163^m$ est à zéro; et à la pression de $414^{mm}$ si on transporte une masse de cet air à la surface terrestre, de manière à lui faire occuper un même volume qu'une égale masse d'air qui s'y trouve déjà, l'air ainsi transporté dégagerait 60° de chaleur, à cause de la diminution de sa capacité

calorifiquo provenant de la réduction de son volume. Cet air serait par conséquent de 30° plus chaud que celui qu'il rencontre sur le sol. Et réciproquement, si l'air de la surfaco terrestre était transporté à 5,163$^{m}$ do hauteur, sa températuro tomberait à 30° sous zéro.

De là il tire cette conséquence bien juste : « que les couches d'air ne peuvent pas se déplacer en vertu de leur différence de température, car il semblerait au premier abord que les couches d'air inférieures étant plus chaudes que les supérieures devraient s'élever pour remplacer ces dernières ; mais le résultat serait pire qu'auparavant, puisque l'air ascendant se refroidirait plus que ne l'était l'air descendant, ot celui-ci so réchaufferait plus quo ne l'était celui-là, en sorte que l'atmosphère serait arrivée à un état moins stablo que le précédent. (Saigey , *Petite physique du globe*, 1$^{re}$ partie , chap. 21 , page 93.) »

Dans le calcul que nous avons fait plus haut sur l'élévation de l'air, nous avons regardé ce fluide comme s'il était sec, parce qu'il ne nous était pas possible d'indiquer quelle quantité de vapeur il fallait introduire dans ce calcul, vu qu'à notre connaissance du moins il n'existe pas de tables donnant la quantité de vapeurs qui se trouvent dans l'atmosphère aux différentes époques do l'année sur les divers parages dominés par les calmes, qui sont précisément les endroits où l'on suppose que l'air s'élève. Il ne nous était pas possible de prendre même par approximation une moyenne, car les moyennes doivent différer très-sensiblement pour les diverses contrées équatoriales, puisque la quantité des vapeurs est intimement liée aux conditions locales. En outre, pour cette hauteur et pour cette diminution de températuro qui sont insignifiantes, la vapeur contenue dans l'air ne pouvant ni changer d'état ni développer une quantité de chaleur appréciable, nous pouvons regarder la vapeur comme non existante dans l'air ou plutôt supposer qu'elle se comporte entièrement comme l'air.

## CHAPITRE VII.

### THERMOMÈTRE ET BAROMÈTRE.

On croit trouver un argument favorable à la théorie dans les observations thermométriques et barométriques recueillies dans les régions dominées par les alizés et par les calmes équatoriaux. On affirme que les températures maxima et les pressions minima correspondent à la région des calmes, et on en déduit que dans cette région il doit nécessairement exister une élévation d'air. Nous allons discuter ces observations, ainsi que les travaux qui ont été faits sur la théorie et qui ont pour base ces observations.

On a donc dit d'abord que la zône des calmes équatoriaux coïncide avec le maximum thermal. M. Dove, dans son ouvrage *Loi des tempêtes* (page 16), donne trois tables que nous allons mettre sous les yeux du lecteur : la première regarde les températures de la partie Nord de la zone torride ; les deux autres, les limites des alizés et des calmes pour diverses parties de la mer. La table des températures est calculée par lui ; j'ignore sur quelles bases : je n'ai pu me procurer son ouvrage *Die Verbreitung der Wærme auf der Oberflæche der Erde* (Distribution de la chaleur à la surface de la terre), où cette table a été donnée la première fois par l'auteur.

Les deux autres tables des limites des calmes et des alizés sont, la première de Horsbourg *(India directory, p. 25)*, et embrasse seulement les méridiens de 18° et 26° de longitude Ouest. Elle est le résultat des observations de 149 navires allant de l'alizé N-E. dans l'alizé S-E. et de 88 navires allant de cet alizé à l'autre ; la latitude est Nord.

La dernière table est de Kerhallet *(Considérations générales sur l'Océan pacifique, p. 4)*; elle donne l'étendue de l'alizé dans l'Océan Pacifique d'après les observations de 92 navires.

| LATITUDE. | 0° | 10° | 20° | 30° |
|---|---|---|---|---|
| Janvier | 26° 37 | 25° 12 | 21° 12 | 14° 25 |
| Février | 26 75 | 25 87 | 22 62 | 15 50 |
| Mars | 27 00 | 26 50 | 24 00 | 17 62 |
| Avril | 27 37 | 27 25 | 26 12 | 20 12 |
| Mai | 26 75 | 27 37 | 27 00 | 23 12 |
| Juin | 26 62 | 27 25 | 27 25 | 25 12 |
| Juillet | 25 87 | 27 12 | 27 62 | 25 75 |
| Août | 26 00 | 27 12 | 27 62 | 27 00 |
| Septembre | 26 12 | 27 12 | 27 00 | 25 25 |
| Octobre | 26 12 | 26 75 | 26 12 | 22 75 |
| Novembre | 26 50 | 26 50 | 24 62 | 18 87 |
| Décembre | 26 25 | 25 75 | 22 75 | 15 37 |
| Hiver | 26 50 | 25 62 | 22 12 | 15 25 |
| Printemps | 27 00 | 27 00 | 25 75 | 20 25 |
| Été | 26 12 | 27 12 | 27 50 | 26 00 |
| Automne | 26 25 | 26 75 | 25 87 | 22 25 |
| Année | 26 50 | 26 62 | 25 25 | 21 00 |

| MOIS. | LIMITE SUD de L'ALIZÉ N-E. | LIMITE NORD de L'ALIZÉ S-E. | LARGEUR DE LA ZONE intermédiaire |
|---|---|---|---|
| Janvier | 5° 45' | 2° 45' | 3° 0' |
| Février | 6 0 | 1 15 | 4 45 |
| Mars | 5 8 | 1 15 | 3 45 |
| Avril | 5 45 | 1 15 | 4 30 |
| Mai | 6 30 | 2 45 | 3 45 |
| Juin | 9 0 | 3 0 | 6 0 |
| Juillet | 12 0 | 3 30 | 8 30 |
| Août | 13 0 | 3 15 | 9 45 |
| Septembre | 11 45 | 3 0 | 8 45 |
| Octobre | 10 0 | 3 0 | 7 0 |
| Novembre | 8 0 | 45 | 4 15 |
| Décembre | 5 30 | 15 | 2 15 |

| MOIS. | LIMITE POLAIRE | | LIMITE ÉQUATORIALE | | LARGEUR de la région des CALMES. |
|---|---|---|---|---|---|
| | DE L'ALIZÉ N-E. Latitude N. | DE L'ALIZÉ S-E. Latitude S. | DE L'ALIZÉ N-E. Latitude N. | DE L'ALIZÉ S-E. Latitude N. | |
| Janvier | 21° 0' | 33° 25' | 6° 30' | 5° 0' | 3° 30' |
| Février | 28 28 | 28 51 | 4 1 | 2 0 | 2 1 |
| Mars | 29 0 | 31 10 | 8 15 | 5 50 | 2 25 |
| Avril | 30 0 | 27 25 | 4 45 | 2 0 | 2 45 |
| Mai | 29 5 | 28 24 | 7 52 | 3 36 | 4 16 |
| Juin | 27 41 | 25 0 | 9 58 | 2 30 | 7 28 |
| Juillet | 31 43 | 25 28 | 12 5 | 5 4 | 7 1 |
| Août | 29 30 | 24 18 | 15 0 | 2 30 | 12 30 |
| Septembre | 24 20 | 24 51 | 13 56 | 8 11 | 5 45 |
| Octobre | 26 6 | 23 27 | 12 20 | 3 32 | 8 48 |
| Novembre | 25 9 | 28 39 | » » | » » | » » |
| Décembre | 24 0 | 22 30 | 5 12 | 1 56 | 3 16 |

Si quelqu'un, pour prouver que la zone des calmes coïncide avec le maximum de température, voulait se servir de ces tables, l'argument, croyons-nous, ne serait pas concluant. Comme on le voit, la table des températures ne donne que des moyennes, calculées de dix en dix degrés. Ce n'est pas à ces sortes de moyennes qu'il faut demander la solution de cette question, mais aux températures réelles *maxima*. En employant de pareilles moyennes, on élude la difficulté ; car en prenant une moyenne sur une étendue de 10° de latitude, nous ne pouvons être conduits à aucun résultat ni bon ni mauvais.

Quand même ces calculs seraient faits pour chaque degré de latitude, ils se trouveraient entachés de trois défauts pour le moins : 1° Les zones des calmes et des alizés, à aucune époque de l'année, ne suivent les parallèles, mais elles les coupent plus ou moins obliquement ; le plus souvent donc, pour un certain nombre de degrés, on trouverait sur une même ligne de compte une moyenne correspondant en partie aux calmes, en partie à l'alizé.

2° Ces calculs, n'étant pas faits sur un nombre considérable d'observations, en les étendant sur un grand nombre de points de la su-

perficie de chaque degré, ne peuvent reposer que sur des bases arbitraires. Et s'ils étaient faits en étendant les observations d'un parage aux parages voisins, ce ne serait qu'arbitrairement aussi, car les températures dans un même jour peuvent, pour des circonstances locales, différer plus ou moins entre deux espaces voisins.

3° Pour cette raison, en supposant même ces moyennes déduites seulement d'observations directes assez nombreuses, et en supposant aussi que les températures des régions dominées par les calmes ne se trouvent pas mêlées à celle des régions des alizés, ces moyennes masqueraient encore la vérité. Car, par le fait, on trouve parfois sous les calmes une température tantôt plus basse, tantôt plus élevée que celle de la région voisine de l'alizé. A plus forte raison, les températures moyennes calculées de dix en dix degrés doivent être regardées comme fautives. Elles ne nous paraissent pas mériter d'être prises pour base d'un raisonnement sérieux.

Quant aux tables qui donnent les limites des alizés et des calmes, elles ne nous paraissent pas non plus mériter notre confiance : 1° parce que les observations sont peu nombreuses ; 2° parce qu'on ne peut regarder les limites des calmes comme fixes, car on sait que les calmes varient, non seulement dans les différentes saisons, mais d'un jour à l'autre; en sorte que d'un jour à l'autre, d'un moment à l'autre on peut trouver le calme sur un parage où soufflait l'alizé. Cela est si vrai, que d'autres auteurs assignent d'autres limites pour les vents et pour les calmes.

M. Dove ajoute : « Nous voyons, d'après ces tables, que la position de la zone des calmes varie dans des limites plus étroites que celle de la zone de température maximum, soit qu'on la considère lorsqu'elle approche de l'équateur ou lorsqu'elle s'en éloigne. » L'observation du savant météorologiste de Berlin est vraie. Si ces tables prouvent donc quelque chose, ce n'est pas en faveur de la théorie, puisque la zone des calmes ne se trouve pas toujours correspondre aux parages les plus échauffés.

Mais poursuivons cette étude des températures. Voyons si les autres faits que nous possédons prouvent réellement que la zone des calmes correspond au maximum thermal. Disons d'abord que nos connaissances actuelles ne nous permettent pas d'assigner la vraie

position de toute la zone des calmes, que cette zone n'est pas constante, puisque, comme nous venons de le dire, à quelques jours, à quelques heures même d'intervalle, une région de calme peut se trouver envahie par l'alizé; et cela non seulement aux époques des variations de ce vent, mais lorsque, d'après la théorie, il devrait être bien établi.

En second lieu, nous sommes encore bien éloignés de connaître les maxima de température de tous les points de l'Océan entre lesquels oscille la zone des calmes équatoriaux ; on n'est donc pas en droit d'affirmer que cette zone coïncide avec le maximum thermal.

M. Maury et ceux qui ont écrit après lui sur cette matière s'appuient sur les données consignées dans les cartes de cet auteur donnant la position des calmes. Supposons donc ces données justes. Si nous ouvrons d'un côté ces cartes, et de l'autre la carte qui donne pour tout l'Océan Atlantique les lignes isothermes aux différentes saisons, nous trouvons que ces lignes sont bien autrement ondulées que ne le sont les bandes des calmes aux saisons correspondantes.

Ainsi, par exemple, au mois de mars, la ligne du maximum de température entre les méridiens 13° et 22° O. (P) fait une courbe presque symétrique dont les extrémités coupent le 5ᵉ parallèle Nord, et le sommet se trouve à 6° 30′ à peu près. Or la bande des calmes, à cette même époque, est bien loin de correspondre avec son milieu sur cette courbe, elle la touche à peine en quelques endroits avec sa limite Nord : dans sa plus grande partie elle s'en trouve dehors.

En septembre, l'isotherme coupe deux fois la zone des calmes, et en divers points elle en est tellement en dehors, que tandis que la limite méridionale de cette zone se trouve toute dans l'hémisphère Nord, à trois degrés environ de l'équateur, l'isotherme maximum dépasse l'équateur en moyenne à plus d'un degré au Sud dans une étendue de presque 40° en longitude. La moyenne distance entre la limite méridionale de la zone des calmes et le maximum de température est par conséquent de quatre degrés. Nous sommes donc bien loin de trouver la coïncidence du maximum de température avec le *milieu* de la zone des calmes.

Pour que le lecteur puisse s'en convaincre par lui-même, nous avons rendu égales les dimensions de ces cartes, nous les avons su-

perposées et nous les donnons ainsi réduites en une seule (carte 1re). Un simple coup d'œil sur cette nouvelle carte suffira pour faire voir qu'en aucune saison il n'existe de relation entre le maximum thermique et la position de la zone des calmes.

Je fais remarquer qu'il n'existe pas d'autre carte thermale des régions équatoriales (1) ; on n'a donc pu prendre ailleurs les preuves de cette proposition. Les faits que nous possédons nous la démontrent comme dénuée de fondement.

Il me semble que si l'alizé était le résultat d'une prétendue élévation de l'air occasionnée par l'excès de température des régions équatoriales, l'élévation devrait avoir lieu sur toute l'étendue des mers où se trouve le maximum thermique ; on devrait avoir là partout une zone de calmes, ce qui n'est pas.

Je veux maintenant rapporter ici un singulier résultat des moyennes températures des régions de l'alizé et de la zone des calmes, obtenu par le dépouillement de 100 journaux de bord. Ce dépouillement a été fait par le capitaine Varley, de la marine américaine.

Dans les alizés N-E, 5° au-delà de la limite septentrionale de la zone des calmes équatoriaux, par 14° Nord, la température moyenne de l'air est de 25° 67′ ; à la limite septentrionale, par 9° Nord, elle est de

(1) Voici quelles sont, d'après nos connaissances, les cartes thermales que la science possède. Huit grandes feuilles pour tout l'Océan Atlantique Nord, six autres pour l'Atlantique Sud. Ces cartes ont été dressées sous la direction de M. Maury, les premières par MM. Gantt et Flye, les autres par ce dernier et M. W. Ross-Gardner, et publiées toutes aux frais du gouvernement des États-Unis.

L'Institut météorologique d'Utrecht a publié deux cartes des parages situés au Sud du Cap de Bonne-Espérance, par lesquels passent les navires se rendant de l'Océan Atlantique dans l'Océan Indien. Elles donnent les températures moyennes, maxima et minima, sur des carrés de 2° de latitude pour 3° de longitude, l'une pour les mois de février et mars, l'autre pour mai et juin, époques auxquelles les courants chauds et froids de la mer ont leurs positions extrêmes. Ce travail est l'œuvre de M. Andrau, lieutenant de la marine hollandaise, fait sur le dépouillement des journaux des navires de cette nation qui se rendent aux Indes ou en reviennent. Ces cartes n'ont pu jeter aucun jour sur la question qui nous occupe, car elles commencent au 23e parallèle Sud seulement.

M. Maury, dans ses *Sailing-Directions*, faisait espérer la prochaine publication des cartes thermales du Pacifique Sud et de l'Océan Indien ; mais elles n'ont pas encore paru, et nous savons qu'on en a suspendu la rédaction faute de matériaux pour l'Océan Indien, faute de travailleurs pour l'Océan Pacifique.



27° 22'. Au milieu de la zone des calmes, par 4° 30' Nord, la température est de 27° 78'. A sa limite méridionale sur l'équateur, elle est de 27° 44'; et 5° au-delà dans le Sud, la température est encore de 26° 78'. Vous voyez par là que la différence entre l'air do l'alizé du 9ᵉ parallèle Nord et celle de l'air du milieu de la zone des calmes par 4° 30' Nord n'est que 0° 56'. C'est bien peu de chose! Cette différence suffit-elle pour rendre compte do l'existence de l'alizé au 9° Nord et do l'existence du calme à 4° 30'?

N'oublions pas que les contrées où règnent les calmes sont des régions de précipitation constante. La vapeur d'eau, en se condensant, rend à l'air une partie du calorique d'évaporation; la température de cette région serait donc moindre si le calme ne s'y trouvait pas. Par contre, les régions dominées par l'alizé donnant une évaporation constante, l'air, à la surface de la mer, perd constamment une certaine quantité do son calorique. Cette contrée serait plus chaude si l'alizé ne soufflait pas. Ces deux causes, comme on le voit, sont toutes deux défavorables à la région de l'alizé, favorables à la région des calmes; une d'entre elles seule suffit donc abondamment à nous rendre compte de cette petite différence de température. Les deux causes réunies, occasionnant nécessairement une différence beaucoup plus forte, nous autorisent à supposer qu'avant que le calme se fasse sur le 4° 30' et que le vent commence à souffler sur les 9° Nord, la température est un peu plns élevée dans ce dernier que dans l'autre parallèle. Le vent devrait donc se trouver à l'endroit des calmes et réciproquement.

Mais je ne veux pas insister davantage sur ces moyennes du capitaine Varley, car 100 observations ne me paraissent pas suffisantes pour établir une moyenne de quelque valeur sur des éléments aussi variables que le sont les limites des calmes et des alizés. Et encore, répétons-le, ce n'est pas sur des moyennes qu'il faudrait raisonner, mais sur les températures réelles trouvées à peu d'intervalle de temps par des navires parcourant, les uns les régions des calmes et les autres celles des alizés d'un même hémisphère. Dans tous les cas, on ne peut invoquer ces températures à l'appui de la théorie; elles lui sont défavorables.

Voici encore un autre résultat consigné solennellement par

M. Maury, dans ses *Instructions nautiques*, et qui doit certainement faire impression sur les savants qui cherchent sincèrement la vérité. « Lorsque le navigateur quitte nos ports, dit M. Maury, pour se diriger vers l'hémisphère Sud.... A mesure qu'il approche de la ligne *il voit son thermomètre monter jusqu'à ce que le navire soit entré dans les calmes équatoriaux.* » Donc, ajouterons-nous, la température est plus élevée dans la région de l'alizé que sous la zone des calmes équatoriaux. M. Maury le dit de nouveau formellement, deux lignes plus bas, dans ces termes : « Si après avoir franchi cette zone où il s'est senti si oppressé, le marin jette les yeux sur son journal, il est surpris de voir que le baromètre et le *thermomètre s'y sont maintenus plus bas que dans les alizés, et qu'avant d'y entrer, comme après en être sortis, ces instruments indiquaient une température et une pression plus élevées, même dans le cas où l'équateur est compris dans cette zone.* » *(Instructions nautiques.* — Ch. V, n° 77.*)*

Après cela, peut-on plus soutenir que la zone des calmes correspond au maximum thermal? Peut-on continuer à regarder comme vraie une théorie dont la base principale est montrée fausse par les faits les mieux établis?

Venons aux observations barométriques. Une des preuves sur lesquelles on a fait le plus de fond sont les indications du baromètre. M. Maury, dans sa *Géographie physique de la mer*, a donné une table des hauteurs moyennes du baromètre à la mer, la voici; nous la prenons de la *Météorologie nautique* de M. Ploix (p. 66).

(A)

| LATITUDE NORD. | BAROMÈTRE. | NOMBRE D'OBSERVATIONS. | LATITUDE SUD. | BAROMÈTRE. | NOMBRE D'OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|---|
| | mm. | | | mm. | |
| Entre 0° et 5° N. | 759,82 | 5,144 | Entre 0° et 5° S. | 760,46 | 3,692 |
| 5° et 10° N. | 760,00 | 5,313 | 5° et 10° S. | 761,48 | 3,924 |
| 10° et 15° N. | 761,09 | 4,496 | 10° et 15° S. | 762,70 | 4,156 |
| 15° et 20° N. | 762,43 | 3,592 | 15° et 20° S. | 763,51 | 4,248 |
| 20° et 25° N. | 764,04 | 3,816 | 20° et 25° S. | 761,59 | 4,536 |
| 25° et 30° N. | 765,80 | 4,392 | 25° et 30° S. | 764,40 | 4,780 |
| 30° et 35° N. | 767,32 | 4,980 | 30° et 36° S. | 763,30 | 6,970 |
| 35° et 40 N. | 765,15 | 5,103 | 40° et 43° S. | 761,69 | 1,703 |
| 40° et 45° N. | 763,94 | 5,890 | 43° et 45° S. | 756,40 | 1,130 |
| 45° et 50° N. | 763,51 | 8,282 | 45° et 48° S. | 752,59 | 1,174 |
| 50° et 55° N. | 760,72 | Angleterre. | 48° et 50° S. | 752,33 | 672 |
| 59° 51' N. | 758,94 | St-Pétersbourg. | 50° et 53° S. | 748,78 | 665 |
| 78° 37' N. | 755,80 | Dr Kane. | 53° et 55° S. | 745,73 | 475 |
| » | » | » | 56° 1/2 S. | 743,95 | 1,126 |

On tire de cette table une conséquence qui nous paraît fausse à plusieurs points de vue. On a prétendu que le minimum barométrique, entre l'équateur et le 5° parallèle Nord et Sud, prouve tout à la fois l'ascension de l'air entre ces parallèles, l'existence des calmes et l'arrivée des masses d'air du Nord et du Sud. On vient de voir que le thermomètre prouve tout le contraire. Mais laissons de côté cet argument pour nous occuper uniquement des indications barométriques.

Je dis donc que les moyennes en question ne nous révèlent pas la vérité, mais qu'elles la défigurent. Arrêtons-nous aux premiers cinq degrés, car c'est là qu'existe la pression minimum. Les deux

moyennes obtenues entre 0° et 5°, d'un côté et d'autre de l'équateur, ont été déduites de toutes les observations faites aux différentes saisons, et, par conséquent, on a mis sur une même ligne de compte des pressions barométriques des régions des calmes et des régions des alizés.

Nous avons déjà vu que la zone des calmes oscille de plusieurs degrés, et avec elle oscillent les zones des alizés. Ainsi, par exemple, au mois de septembre, la zone des calmes sur le Pacifique se trouve tout-à-fait en dehors du 5° Nord, depuis le méridien de Saint-Francisco jusqu'à celui des îles Philippines. Dans l'Océan Atlantique, à cette époque, l'alizé S-E. a franchi l'équateur, et s'étend à plus de 1° 30′, depuis le méridien de l'île Saint-Thomas jusqu'à celui qui passe sur les îles du Cap-Vert. De là, à cette même saison, la ligne des calmes va en s'en écartant toujours davantage, en sorte qu'elle finit par sortir entièrement du 5^e^ parallèle et s'en tient ainsi éloignée pendant 12° à 15° en longitude. Est-il raisonnable d'additionner les observations prises sur tous ces endroits où règnent les alizés avec celles qui ont été faites sur les parages dominés par les calmes? Ces moyennes défigurent donc la vérité.

De plus, je veux faire remarquer que pour le plus grand nombre peut-être des observations, comme l'avoue M. Maury, on n'a tenu aucun compte des températures, parce que les baromètres d'un très-grand nombre de navires américains n'avaient pas de thermomètre.

Peut-on, je le demande, regarder ces instruments comme capables de donner de bons résultats? Quel soin a-t-on pu apporter dans leur construction? Est-il permis de se fier à des moyennes obtenues par des baromètres de cette nature?

D'après la table, la différence de pression entre les premiers cinq parallèles et les cinq suivants de l'hémisphère Nord n'est que de 0^mm^18; ne pourrait-on pas mettre cette différence sur le compte des températures, plutôt que de la considérer comme une diminution de pression? On a vu que la température est, en effet, plus élevée dans l'alizé que dans les calmes.

Mais quand même cet abaissement fût réel, prouverait-il que l'air s'élève? L'abaissement du mercure dans le baromètre n'indique

pas l'existence d'un courant ascendant, ainsi que l'élévation du même liquide n'indique pas non plus un afflux d'air. Les oscillations barométriques n'expriment directement qu'un changement de pression atmosphérique. Ce changement est sans doute souvent occasionné par de vrais courants, mais celui qui voudrait, d'une dépression quelconque du baromètre, déduire l'existence d'une élévation de l'air dans un endroit quelconque, risquerait de se tromper grossièrement. Témoin ces mêmes moyennes dont nous parlons.

On a prétendu encore que le minimum barométrique entre 0° et 5° de l'hémisphère Sud indique aussi une élévation de l'air en cet endroit; mais en se laissant entraîner par des opinions préconçues, on n'a pas pris garde qu'en aucune saison la zone des calmes ne sort de l'hémisphère Nord ; l'alizé règne entre ces parallèles d'un bout à l'autre de l'année. Il ne peut donc pas y avoir élévation d'air ; donc une différence de pression entre deux parages ne prouve pas toujours l'existence de cette élévation à l'endroit où a lieu le minimum ; donc aussi la différence de pression entre les premiers 5° et les 5° suivants de l'hémisphère Nord ne prouve rien.

Mais supposons qu'elle prouve quelque chose, supposons que les baromètres aient été bien construits, qu'on ait tenu compte des températures, que les observations aient été bien faites en séparant (ce qu'on n'a pas fait) celles des alizés de celles des calmes, et, de plus, supposons que tout abaissement du mercure dans le tube barométrique exprime réellement une élévation de l'air ; eh bien, cet abaissement de 0°18′ est-il suffisant pour rendre compte de l'alizé? Il ne mérite pas même qu'on s'y arrête.

Je veux, avant de clore ce chapitre, mettre sous les yeux du lecteur une autre table du même M. Maury, qui donne les pressions barométriques moyennes des alizés des deux hémisphères dans les deux océans Atlantique et Pacifique. En rapprochant les chiffres de cette table B d'avec les chiffres de la table précédente A, nous nous trouverons en face de conséquences absurdes (1).

(1) Dans cette table, que nous prenons des *Instructions nautiques* (page 287), M. Maury donne aussi les pressions moyennes des environs du cap Horn ; nous les avons supprimées parce qu'elles n'ont aucun rapport avec notre sujet.

**(B)**

| MOIS. | ALIZÉS DU N-E. | | | | ALIZÉS DU S-E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ATLANTIQUE. | | PACIFIQUE. | | ATLANTIQUE. | | PACIFIQUE. | |
| | Baromètre. | Jours d'observations. | Baromètre. | Jours d'observations. | Baromètre. | Jours d'observations. | Baromètre. | Jours d'observations. |
| | mm. | | mm. | | mm. | | mm. | |
| Janvier | 747.50 | 49 | 750.00 | 50 | 749.00 | 22 | 751.00 | 55 |
| Février | 750.00 | 64 | 749.50 | 42 | 747.00 | 74 | 750.75 | 00 |
| Mars | 749.25 | 81 | 748.75 | 53 | 749.25 | 65 | 747.50 | 45 |
| Avril | 749.50 | 53 | 746.25 | 31 | 747.75 | 76 | 748.25 | 49 |
| Mai | 747.50 | 20 | 748.25 | 73 | 750.00 | 28 | 749.25 | 69 |
| Juin | 754.50 | 26 | 751.25 | 57 | 749.00 | 36 | 750.75 | 98 |
| Juillet | 749.25 | 14 | 751.75 | 91 | 756.00 | 5 | 748.50 | 40 |
| Août | 748.75 | 13 | 746.00 | 47 | 750.75 | 14 | 747.00 | 32 |
| Septembre | 750.25 | 18 | 748.50 | 26 | 750.25 | 14 | 755.00 | 10 |
| Octobre | 748.75 | 38 | | | 748.75 | 46 | 752.00 | 19 |
| Novembre | 748.00 | 40 | 749.75 | 13 | 749.75 | 37 | 762.50 | 6 |
| Décembre | 749.00 | 57 | 750.00 | 81 | 747.00 | 65 | 751.00 | 26 |
| MOYENNES | 749.37 | | 749.00 | | 749.50 | | 751.25 | |
| SOMMES | | 473 | | 517 | | 482 | | 509 |

La table A fait voir que de l'équateur au 31° parallèle, qui est la limite extrême de l'alizé N-E., les pressions vont en augmentant. On prétend prouver par là tout à la fois, comme je l'ai déjà dit, et l'élévation de l'air dans la zone des cinq premiers parallèles, et l'afflux de l'air des trente suivants. S'il était vrai que les différences de pression entre deux lieux rapprochés ou éloignés expriment réellement un afflux d'air vers le lieu où la pression est plus faible, il est aisé de prouver, à l'aide de l'autre table, que l'appel de l'air ne se fait pas vers l'équateur, mais qu'il a lieu en sens contraire, de l'équateur vers les hautes latitudes.

En effet, la pression moyenne entre l'équateur et le cinquième parallèle, d'après le tableau A, est dans l'hémisphère Nord 759mm82; on prétend que c'est là la région des calmes. La table B donne les moyennes de l'alizé aux différents mois de l'année. Qu'on examine ces pressions sur l'Océan Atlantique septentrional d'abord, sur le Pacifique ensuite, l'on trouvera que les moyennes les plus élevées sur les deux mers sont encore beaucoup plus faibles que la pression indiquée dans le tableau A pour les calmes. Ces pressions correspondent aux mois de juin et de juillet; elles sont 754mm50 pour l'Atlantique, 751mm75 pour le grand Océan. Ce qui signifie que, sur cette dernière mer, la pression est de 8mm07, et sur l'autre de 5mm32 plus faible que sur la zone des calmes. Et si, au lieu des moyennes les plus fortes, nous prenons, ce qui est plus rationnel, les moyennes de tous les mois, la différence sera encore plus grande. Ces moyennes, en effet, étant 149mm37 pour l'alizé de l'Atlantique, 749mm pour l'alizé du Pacifique, l'excès de pression sur la zone des calmes sera de 10mm45 par rapport à l'alizé de la première mer, et de 10mm80 par rapport à la seconde!

Si maintenant cet excès de pression représentait un vent, ce vent viendrait de l'équateur dans les latitudes de l'alizé, et soufflerait avec plus de véhémence que l'alizé lui-même. Comme on le voit, la différence de pression entre deux lieux ne prouve donc pas l'existence d'un courant d'air de l'un à l'autre. Cela nous paraît assez évident : nous n'insisterons pas davantage.

Faisons remarquer au sujet du tableau A que ce tableau pourra par hasard être de quelque utilité pour le marin; nous le supposons du moins, puisque M. Maury, qui est maître en cette matière, en a jugé ainsi; mais il ne pourrait être d'aucune utilité pour le météorologiste, parce qu'en dehors de toute autre considération, les indications données par ces tables n'expriment ni les pressions des calmes, ni celles des alizés. Si l'on possédait pour les calmes un travail semblable à celui de la table B, on pourrait alors se rendre suffisamment compte si la pression, sous les calmes, est réellement plus faible, comme on le prétend.

Pourtant, j'avouerai que je suis personnellement convaincu qu'en réalité il doit exister généralement à l'équateur une dépression baro-

métrique. Le lecteur se souviendra en outre que M. Maury nous a dit que le baromètre se conserve toujours plus bas sous la zone des calmes que sur les parages dominés par les alizés. J'ajoute une entière confiance à ces observations, parce qu'elles expriment les faits tels qu'ils sont.

Ce n'est pas seulement pour cette raison que j'admets une diminution de pression sous la zone des calmes ; j'ai d'autres raisons que je me propose de faire connaître lorsque je traiterai la question si délicate des causes des oscillations barométriques. Il est inutile d'y faire ici la moindre allusion, ces raisons étant en dehors du sujet qui nous occupe.

Mais bien que j'admette l'existence d'une dépression barométrique sous la zone des nuages, je suis loin de croire à l'existence d'une élévation de l'air dans cette région, parce que j'ai déjà abondamment prouvé, je crois, que cette élévation ne peut s'effectuer au-delà d'une vingtaine de mètres, et, de plus, parce que toute dépression barométrique n'implique pas nécessairement l'existence d'un courant ascendant; en outre, parce que les indications thermométriques prouvent manifestement le contraire, et enfin pour toutes les autres raisons que nous avons développées dans ces deux derniers chapitres.

---

## CHAPITRE VIII.

### ACTION DE LA CHALEUR SUR LES BRISES ALTERNANTES.

S'il y a des vents auxquels on puisse plus naturellement appliquer la théorie des alizés, ce sont les brises de terre et de mer, ainsi que les brises des lieux montagneux, car elles se manifestent avec plus de régularité que tous les autres.

On dit que la cause des brises de terre et de mer est la différence de température entre la terre et la mer. On prétend que, jusqu'à une certaine heure du matin, les températures de la mer et de la terre, ainsi que de l'air qui les recouvre, sont égales : voilà pourquoi, dit-on, le calme règne dans l'atmosphère. Mais le sol s'échauffant plus que la mer, l'air qui repose sur lui devenant à son tour plus chaud que l'air de la mer, il en résultera un mouvement atmosphérique vers la terre : c'est la brise de mer. Le soir, l'air reposant sur le sol se refroidit parce que la terre perd son calorique plus rapidement que l'eau. Vers le coucher du soleil, les deux airs ont la même température, le calme s'établit ; mais lorsque le sol se refroidit plus que la mer, alors le vent part de la terre vers le large. On affirme que c'est au minimum de température du jour que ce vent atteint son maximum d'intensité, comme la brise de mer atteint son maximum au maximum de température.

Cette explication est très-ingénieuse et présente toute l'apparence de la vérité. La capacité calorifique de l'eau, de beaucoup plus considérable que celle du sol, ainsi que la conductibilité plus grande de la terre sur l'eau, paraissent confirmer cette théorie ; mais nous avons déjà vu quelle est la valeur de l'action du calorique sur l'air pour comprendre qu'il n'y a rien que de spécieux dans cette explication.

D'abord, a-t-on des faits qui confirment cette théorie? A-t-on des

expériences directes prouvant que réellement sur mer la température est plus élevée lorsque le vent de terre souffle, et plus basse lorsqu'il règne le vent du large? Dans toutes les recherches que nous avons faites sur les livres qui traitent de cette matière, il nous a été impossible de trouver mentionnée une seule observation de ce genre. C'est qu'il n'en existe réellement aucune.

Examinons directement les faits. On sait que la brise de mer, dans les pays où elle est régulière pendant une grande partie de l'année, ne commence à souffler que vers neuf ou dix heures du matin et parfois plus tard encore. Il est certain, comme le fait remarquer M. Jansen, lieutenant de la marine hollandaise, qu'avant l'apparition du vent marin la température, sur la mer, est tellement élevée que sur le pont des navires la chaleur devient insupportable, les planches brûlent sous les pieds, et il est impossible de se garantir des effets des rayons du soleil qui pénètrent tout obstacle.

On voit l'air vibrer comme sur les fournaises ardentes, et cependant il règne le calme le plus absolu. Or, comment supposer que la température, que l'on dit être à cet instant égale sur le sol et sur la mer, quelques instants après commence à augmenter sur le sol jusqu'à donner lieu à un mouvement de l'air marin sous forme de courant? S'il était vrai que la terre pût atteindre dans la matinée une température sensiblement plus élevée que celle de la mer, ce serait dans les premières heures du jour, et non lorsque le calorique sur mer est devenu insupportable. Quoiqu'il soit vrai que la capacité calorifique de l'eau est plus grande que celle du sol, et que par là le temps qu'il faut à ce dernier pour acquérir ou pour perdre un certain nombre de degrés de chaleur soit plus petit, il ne s'ensuit pas qu'il existe une différence sensible de température entre les deux airs qui reposent sur la mer et sur le sol.

Une molécule d'air, en effet, pour abandonner sa place, n'attendra pas qu'elle possède un excès de chaleur considérable, mais elle l'abandonnera à l'instant même qu'il existera entre elle et les molécules voisines la plus petite différence. Ainsi, par le mélange continuel de toutes les molécules, les deux masses d'air reposant sur la mer et sur la terre seront toujours à peu près à la même température, même aux deux limites extrêmes, qui, comme on le sait, sont peu



éloignées l'une de l'autre; car les deux vents ne s'étendent au large, en moyenne, que deux ou trois lieues tout au plus. En outre, si les deux vents étaient vraiment dus à la différence de température, ils devraient exister partout, non seulement dans les régions équatoriales, mais dans nos climats tempérés; et aux régions équatoriales elles-mêmes ils se feraient sentir non seulement sur les côtes élevées et sur les terres qui présentent des hauteurs à peu de distance des côtes, mais aussi sur les terres basses.

L'absence de la brise dans les terres basses comme sa présence dans les terres élevées est un double fait contraire à la théorie que nous réfutons; car c'est sur les terres basses que la température est plus élevée que sur les hauteurs. Pourquoi donc la double brise ne s'établit-elle pas entre les terres basses et la mer, plutôt qu'entre la mer et les terres élevées? La véritable raison de cela est que la température, comme telle, c'est-à-dire considérée simplement comme action mécanique, n'est nullement la cause de ces vents.

A l'appui de notre opinion, nous citerons ici quelques passages de M. Lartigue qui montrent cette théorie en contradiction avec les faits. « D'après la plupart des théories établies, dit-il, les brises de mer et les brises de terre seraient déterminées par la différence qui existe entre la température de la terre et celle de la mer. Lorsque le soleil est au-dessus de l'horizon, disent quelques auteurs, la terre s'échauffe plus que l'eau, et l'air frais de la mer se porte vers la terre; pendant la nuit, au contraire, la terre étant plus froide que la mer, l'air se dirige vers le large. Cette explication repose sur des faits qui ne sont pas parfaitement exacts; car si les brises de mer se dirigent des lieux frais vers d'autres qui le sont moins, les brises de jour dans l'intérieur des terres se dirigent des plaines qui sont échauffées vers les terres élevées qui sont plus fraîches; les brises de nuit descendent de ces dernières vers les plaines où la température est plus élevée. Mais comme dans la zone torride la température est presque toujours plus élevée près du rivage que sur les parties de mer adjacentes, il s'ensuit que les brises de terre se dirigent souvent des lieux échauffés vers d'autres qui le sont moins.

» Il est aussi à remarquer que les brises de mer et les brises de terre sont beaucoup moins régulières près des terres basses que près

de celles qui sont plus élevées, quoique la différence de température de ces mêmes terres avec la mer soit beaucoup plus sensible près des premières que près des hautes terres.

» Les brises de jour et les brises de nuit, comme celles de mer et celles de terre, sont souvent interrompues dans les montagnes et sur les côtes lorsque les terres sont très-échauffées : ainsi, les brises de mer sont très rares en été sur une partie des côtes de l'Algérie lorsque les vents de N-E., qui sont ordinairement d'une température assez fraîche, soufflent au large des côtes; ces vents s'arrêtent même à quelque distance du rivage là où les côtes sont élevées ou escarpées.

» Les brises ne s'établissent pas même sur les côtes lorsqu'il fait calme en même temps à la surface de la terre et dans les couches supérieures de l'atmosphère, quoiqu'il existe une différence sensible entre la température de la terre et celle de la mer. Lorsque les vents polaires et les vents alizés ont une grande intensité, ils parviennent sur le versant de dessus le vent des terres et ils continuent leur cours vers la pleine mer ; ils conservent alors plus de force pendant le jour que pendant la nuit; cependant dans la zone torride la température est alors sensiblement plus élevée sur les terres situées près du rivage que sur les parties de mer adjacentes, et si dans ce cas la brise de mer s'établit, ce n'est que vers 4 heures du soir, à l'instant où la terre commence à se refroidir.

» De tous les faits que je viens de rapporter, et qui se passent d'une manière analogue dans les diverses parties du globe, on pourrait, ce semble, conclure que la différence qui peut exister entre la température de la terre et celle de la mer *n'exerce pas d'influence sur les brises alternatives de terre et de mer.* (Lartigue, pages 56 et 57.) »

Après tout ce que nous venons de dire sur les brises, il nous semble que ce serait faire violence à la raison et aux faits que de s'obstiner à regarder ces vents comme l'effet des différences de température entre la terre et la mer. Il n'y a *aucun fait positif, aucune expérience directe* qui favorise cette théorie, tandis que, comme nous venons de le voir, il en existe plusieurs qui lui sont opposés.

Cependant, l'action du soleil est frappante : il n'est pas permis de

la mettre en doute. M. Lartigue voyant d'un côté cette action, et de l'autre les faits qui s'opposent à attribuer les brises dont nous parlons aux différences de calorique dans le sens horizontal, incline à croire qu'elles soient dues aux différences de température dans le sens de la verticale. Mais cette explication nous paraît encore moins probable que la précédente.

Nous avons déjà vu, en effet, que dans l'état anormal des choses, c'est-à-dire lorsque la température diminue régulièrement, il ne peut se former de bas en haut, et réciproquement, aucun courant sensible. Il faudra donc supposer 1° que la température des couches supérieures s'abaisse d'une manière anormale; 2° que les brises n'aient lieu que dans ce seul cas. Ce sont précisément les suppositions que fait M. Lartigue; mais elles ne paraissent pas être soutenues par l'ensemble des faits.

Il est hors de doute, d'abord, que les brises alternantes dans les régions équatoriales ne sont pas des phénomènes exceptionnels. Elles soufflent dans un très-grand nombre d'endroits presque tous les jours avec une régularité constante. Peut-on supposer que la température des couches supérieures s'abaisse tous les jours d'une manière anormale? Ainsi par exemple, à Nossi-Bé, petite île de l'Océan indien situé dans le canal de Mozambique, d'après les relations des missionnaires qui y demeurent habituellement, les deux brises sont aussi régulières que possible. Dans la saison des pluies, c'est-à-dire de novembre à avril, il est extrêmement rare que les brises ne se manifestent avec la même régularité. Le temps est beau au large toute la journée; ce n'est qu'avec la brise du soir que la pluie tombe régulièrement tous les jours. Romme, en parlant des brises de la côte Sud de Java, dit : « En février ainsi qu'en octobre, les brises de terre et de mer se succèdent alternativement chaque jour sur cette côte comme sur celle Ouest de Sumatra... un vent de terre en mars et avril s'établit chaque fois par une rafale quelquefois très-forte et accompagnée de pluie. Dès qu'elle est passée, la brise de terre souffle avec modération jusqu'au retour de celle de mer. A la pointe Nord de Java, il y a constamment de telles brises avec un temps beau. (Romme, vol. 1, pages 136 et 137.) »

Pourrait-on supposer que sur ces lieux la température des cou-

ches supérieures s'abaisse tous les jours d'une manière anormale? Comment admettre qu'une irrégularité de température produise régulièrement un beau temps ainsi que la double brise régulière? Quelle serait, d'ailleurs, la cause constante de cet abaissement anormal de température? Pourquoi, lorsque le temps cesse d'être beau, les brises cessent d'être régulières? Il nous semble que c'est dans ce cas plus que dans tout autre que la température des couches supérieures doit diminuer d'une manière anormale; ce serait alors plus que jamais que les brises devraient se succéder entre la terre et la mer avec plus d'intensité. Loin de cela, il se manifeste d'autres vents qui ne présentent plus aucun des caractères des brises.

D'ailleurs, la différence de température dans le sens de la verticale, comment produirait-elle des vents constamment horizontaux et dirigés dans le sens de la perpendiculaire aux rivages? Cette hypothèse n'est, au fond, qu'une application de la théorie des brises des montagnes : vouloir appliquer aux brises marines la même explication des brises des montagnes, c'est, ce nous semble, rendre le phénomène moins intelligible. La théorie des brises marines, dont nous avons fait voir l'insuffisance, présentait, à première vue du moins, des apparences séduisantes, à cause surtout de l'énorme différence des capacités calorifiques de la terre et de l'eau, tandis que la théorie des brises des montagnes ne présente pas même cet appui spécieux.

M. Lartigue nous permettra donc de ne pas être de son avis sur ce point, vu que son hypothèse ne présente pas les caractères de probabilité. Du reste, le savant marin n'a pas prétendu donner son opinion comme une théorie; il ne fait que l'énoncer en passant, non pas même comme une affirmation, mais comme un simple doute que lui ont suggéré ses intéressantes expériences sur les brises des Pyrénées, dont nous ne manquerons pas de parler tout à l'heure.

Nous allons maintenant soumettre à un examen sérieux toutes les preuves dont on a voulu étayer la théorie des brises des montagnes. Nous trouverons que ces vents ne peuvent être expliqués non plus par les variations de température dans le sens vertical.

D'abord la brise du matin, lorsqu'elle a lieu, conserve la même direction depuis 8 heures jusqu'au soir. Si elle était due à la dila-

tation de l'air en contact avec les montagnes, elle ne pourrait avoir la même direction toute la journée ; sa direction devrait changer au moment où le soleil commence à réchauffer les vallées ; le soleil commençant à réchauffer le versant oriental des montagnes, l'air de ce versant doit se dilater et s'élever le premier, surtout vers le sommet ; mais une fois qu'il est devenu libre, c'est-à-dire lorsqu'il a dépassé le sommet, il devrait prendre une autre direction qui serait la résultante du mouvement primitif et de celui qui doit lui être imprimé par l'air du versant occidental, plus dense que celui de l'autre versant.

De plus, la brise devrait d'abord se manifester vers les cimes des monts, ensuite dans la plaine, non simultanément dans toute leur hauteur ; car l'air des parties inférieures aux premières heures du jour n'est pas encore échauffé. Cependant M. Lartigue a observé que l'élévation plus généralement a lieu dans toute la hauteur en même temps, et, ce qui est encore plus en contradiction avec la théorie, le mouvement commence d'abord vers le bas.

« L'ascension des nuages m'a fait quelquefois supposer, dit-il, que les brises ascendantes se manifestaient d'abord à la cime des montagnes ; néanmoins il m'a paru plus ordinairement que ces brises s'élevaient simultanément dans toutes les parties de la même vallée, mais quelquefois j'ai observé qu'elles commençaient au bas des vallées avant de se faire ressentir dans le haut. (Page 76). »

La brise ascendante devrait tenir une direction jusqu'à ce que le soleil échauffe le versant oriental, et changer ou se modifier lorsque l'autre versant commence à ressentir l'action de la température par la raison indiquée plus haut ; savoir, par la différence de densité de l'air des deux versants. Le vent et les nuages qu'il transporte devraient s'élever verticalement lorsque les deux versants sont échauffés ; mais dans la matinée le mouvement devrait être plus ou moins oblique, ce qui n'a pas encore été observé. M. Lartigue, il est vrai, a remarqué à Bagnères-de-Bigorre, au bas des Pyrénées, des changements de direction ; mais ces changements ne sont pas en rapport avec les différentes heures du jour ; quelquefois dans la même journée la brise souffle de l'O-N-O., du N-O. et du N. ; dans d'au-

tres circonstances elle commence au N-E., plus tard elle passe au N. et ensuite au N-O.

En outre, pourquoi ces brises n'existent-elles pas partout où il y a des montagnes ? Fournet affirme que « quand le bassin devient une véritable plaine capable de subvenir à une très-grande dépense, ou absorber une masse considérable, alors les effets s'affaiblissent; ainsi rarement le *pontias* atteint le cours du Rhône, et autour de Genève les brises de la vallée do l'Arve paraissent assez affaiblies pour n'avoir pas excité l'attention des habiles observateurs de cette ville. (*Annales de chimie, etc.* ; 2e série, tom. 74.) »

Cependant l'effet du calorique est le même dans les vallées larges que dans les vallées ressorrées. Je comprends que dans ces dernières les effets peuvent devenir plus intenses, mais je ne vois pas pourquoi dans les vallées larges les effets doivent être nuls comme dans la vallée de l'Arve.

Mais la brise ne manque pas seulement sur les montagnes qui ont au pied de larges vallées; elle manque aussi dans d'autres cas. M. Lartigue a pu s'assurer que, dans la vallée de Campan du moins, « les brises ne descendent ni ne remontent jamais sur les flancs des montagnes ou des collines escarpées ; elles n'étaient sensibles que sur les rampes ou sur les collines inclinées; elles n'acquéraient quelque intensité que dans les vallées un peu profondes qui s'élèvent en pente douce vers des hautes montagnes. (Lart., page 76.) »

La brise descendante, d'après Fournet suivi par tous les autres qui ont écrit après lui sur cette question, provient de ce que durant le jour la plaine se réchauffe plus que la montagne. Après le coucher du soleil, l'air des sommets des montagnes, étant plus froid que celui de la plaine, doit descendre. Si cela était vrai, il devrait nécessairement s'ensuivre que la brise du soir devrait être comparativement plus intense dans les jours plus chauds. Bien loin de là, elle est plus faible et elle disparait même tout à fait. « Pendant les grandes chaleurs, dit M. Lartigue, les brises de nuit sont généralement plus faibles et bien moins réglées que les brises du jour. (Page 76.) »

Et Fournet lui-même dit : « Les circonstances de température locale peuvent encore annuler les brises montagnardes; c'est ainsi

que le *pontias* cesse de souffler lorsque, dans le court intervalle des nuits chaudes de l'été, la terre, échauffée par un soleil brûlant, n'a pas le temps de se refroidir suffisamment. » Ce fait, comme nous disions tout à l'heure, est contraire à la théorie. Si la terre n'a pas le temps de se refroidir, le phénomène ne devrait qu'être plus sensible; l'air de la montagne, dont la température ne laisse pas de s'abaisser, même pendant les courtes nuits, devenu plus dense que l'air de la plaine, devrait descendre vers celle-ci.

Fournet, qui a fait des observations très-intéressantes sur ces vents, a cherché à se rendre compte des anomalies considérables qu'ils présentent. Il les fait dépendre des irrégularités des vallées, de l'amplitude de la plaine, de la disposition des chaînes de montagnes, de la configuration des hauteurs et surtout des vents généraux. Nous sommes bien loin de contester l'influence que chacune de ces circonstances peut exercer sur la modification des brises, mais nous ne pouvons accorder que leur cause première soit la différence des températures.

On s'appuie trop sur le grand froid observé sur les montagnes; mais ce froid est-il la cause de la brise? Tous les observateurs affirment que les montagnes sont plus froides que la plaine, même pendant le jour, même lorsqu'il n'y a pas de vent sensible; il nous semble que la conclusion qu'on devrait tirer de ce fait devrait être contraire à celle qu'on en tire. Car si la différence de température était la véritable cause des brises, celles-ci devraient être inviolablement liées aux variations de température.

Dans les lieux un peu élevés, vers le soir, pendant la nuit surtout, on devrait toujours éprouver des vents froids, et pendant le jour des vents chauds, ce qui n'a pas lieu; car sur les monts, ainsi que dans les vallées, on ressent des vents chauds et des vents froids sans aucune loi. Donc du grand froid qu'on observe sur les montagnes, il n'est permis de tirer aucune conclusion favorable à la théorie.

Fournet, en parlant de la vallée de Joux, dit que « les alternatives de chaud et de froid sont si brusques que l'on y éprouve quelquefois des variations de 20 degrés en quelques heures, et que l'on a vu les faucheurs couper la glace le matin avec leur faux, tandis que quelques heures après le thermomètre indiquait

38 degrés au soleil. Il est impossible, ajoute-t-il, que de pareilles différences ne produisent pas des courants extraordinaires. » Mais il ne suffisait pas d'affirmer que des changements rapides de température doivent produire des courants extraordinaires; il aurait fallu, ce nous semble, montrer l'existence de ces courants et leur coïncidence avec les variations de température.

Tout en admettant d'ailleurs que les rapides changements de température soient toujours capables de produire des courants extraordinaires, nous ferons remarquer que la variation rapide du calorique de la vallée du Joux ne peut être généralisée ni aux autres lieux, ni à la vallée de Joux elle-même; car Fournet lui-même convient que ces changements sont accidentels. Ils ne peuvent d'ailleurs être produits par aucune des causes auxquelles ce savant attribue toutes les anomalies des brises. Ces causes, étant d'elles-mêmes très-faibles et agissant d'une manière lente, ne sont nullement en proportion avec ces effets de variation de température subite et considérable. Qui ne voit que, par là même que ces diminutions rapides de température sont extraordinaires, elles ne peuvent expliquer les brises montagnardes qui sont des phénomènes, sinon constants, au moins très-fréquents?

De tout ceci, il nous est permis de conclure que les brises ne peuvent être regardées comme l'effet immédiat des variations de température. Si donc elles ne reconnaissent pour cause une différence de température dans le sens vertical, à plus forte raison les variations de température dans le même sens ne pourront expliquer les brises marines, lesquelles sont des vents qui soufflent non pas de bas en haut ou réciproquement, mais des vents qui se dirigent vers les côtes en sens plus ou moins perpendiculaire.

## CHAPITRE IX.

### RÉFUTATION D'UNE AUTRE THÉORIE DES VENTS RÉGULIERS.

M. Saigey qui, comme nous l'avons vu, a jeté des doutes bien fondés sur la théorie des alizés ainsi que sur celle des moussons et des autres vents alternants, a voulu proposer une nouvelle théorie ingénieuse, sans doute, mais qui nous paraît bien loin de résoudre le grand problème, ni dans tous ses détails, ni même dans sa généralité, parce qu'elle repose sur le même principe des anciennes théories, c'est-à-dire sur la différence des températures.

« Concevons, dit-il, un plateau qui s'élève jusqu'au centre de gravité de la colonne atmosphérique. Si l'air vient à se chauffer de 10 degrés au niveau de la plaine et proportionnellement dans chaque tranche, on trouve que le centre de gravité de l'air s'élève de 192$^{m}$. Mais le sommet du plateau ne bougeant point, la couche d'air qui se trouve actuellement à la même hauteur est plus pressée de tout le poids de 192$^{m}$ d'air, c'est-à-dire de 9 millimètres et un tiers de mercure. Pour maintenir l'équilibre, il faudra que la pression augmente d'autant sur le plateau, donc l'air y affluera des lieux environnants. Réciproquement, il est visible que quand l'air se refroidira, ce gaz refluera du plateau vers tous les lieux circonvoisins, en sorte que les courants d'air marcheront en sens inverse. (SAIGEY, *Petite physique du globe*, 1$^{re}$ partie, XLVII.) »

M. Saigey ne développe pas cette théorie ; il se contente de la présenter sous une forme générale.

Il compare les continents à une série de plateaux qui, à partir des côtes, s'élèvent en gradins, les uns par dessus les autres ; il veut que lorsque l'atmosphère s'échauffe, l'air de la mer afflue sur le premier gradin, de celui-ci sur le second, et ainsi de suite jusque

dans l'intérieur des terres. Lorsque l'atmosphère se refroidit, le mouvement a lieu en sens contraire; l'air descend de gradin en gradin jusqu'à la mer. L'atmosphère participe, dit-il, à ce flux et reflux diurne troublé, dans l'intérieur des terres, par l'inégalité du sol, mais qui se régularise à l'approche de la vaste étendue des mers, où il apparait sous forme de brises marines et de brises de terre. « Ces vents sont, d'après l'auteur, la résultante de toutes les brises que l'on éprouve dans l'intérieur des terres, et surtout dans le voisinage des montagnes. »

Quant aux moussons, il dit : « Le mouvement annuel de l'atmosphère se fait, au printemps et en été, de l'hémisphère Sud vers l'hémisphère Nord, et du second vers le premier en automne et en hiver. Il donne naissance aux vents moussons qui, réellement, ne sont que l'effet général de toutes les brises. » Enfin, quant aux alizés, il ajoute : « Bien loin des côtes apparaissent les vents alizés, qui sont la résultante immédiate des moussons et la résultante générale de toutes les brises. *(Ibid.)* »

C'est tout ce que M. Saigey dit pour expliquer ces trois sortes de vents. Mais cela ne suffit pas, il aurait dû entrer dans tous les détails des anomalies que ces vents présentent et nous en rendre compte.

Tout ce que nous avons dit dans les chapitres précédents suffit abondamment, croyons-nous, pour persuader nos lecteurs que les vents réguliers ne peuvent avoir naissance de la manière voulue par le savant auteur. Nous pourrions donc nous passer de toute analyse ultérieure, d'autant plus que ces assertions ne reposent sur aucun fait connu. Nous ferons cependant quelques réflexions sur le principe qui leur sert de base.

L'auteur suppose que lorsque l'air s'échauffe, il exerce dans l'atmosphère une pression plus grande, comme il arrive pour un volume de gaz renfermé dans un espace limité et incapable de se dilater et de se mêler à d'autres molécules du même fluide. Ceci est, d'abord, en contradiction avec les observations barométriques : le maximum de pression du jour est bien loin de coïncider avec le maximum de température.

Il suppose, en outre, que l'accroissement de température dans l'air se fait non seulement par le transport et par un mélange continuel

de ses molécules, mais uniquement par la conductibilité propre des molécules elles-mêmes comme dans les solides. En effet, dans un autre endroit, l'auteur l'affirme d'une manière explicite (1).

Or, d'après les expériences de Tomson (*Biblioth. Britann.*, V. 1.), on sait que la conductibilité de l'air et des gaz en général est si petite, qu'on peut presque douter que les gaz aient une conductibilité calorifique, puisque la quantité de calorique qu'ils peuvent acquérir par ce moyen est inappréciable. Donc si le calorique ne se communique pas comme dans les solides, *il doit se communiquer par le déplacement des molécules.*

Quoiqu'il soit vrai que l'équilibre dans un fluide est assuré lorsque les couches sont disposées par ordre de densité croissante de haut en bas, quoiqu'il soit vrai aussi que les couches inférieures peuvent avoir une température plus considérable que les couches plus élevées, il n'est pas moins vrai que tout près du sol, à l'époque des grandes chaleurs, nous voyons très-sensiblement l'air vibrer, s'entre-mêler et se confondre. Les molécules de l'air passent donc d'une couche à une autre, d'un point à un autre de la même couche sans aucun ordre. Ce qui arrive sensiblement et d'une manière brusque dans les tranches inférieures de l'atmosphère doit invisiblement et d'une manière lente avoir lieu aussi dans les couches supérieures. Il n'est pas possible que, dans un fluide naturellement animé d'une force de répulsion par laquelle toutes les molécules tendent à s'éloigner les unes des autres par le plus petit accroissement de température, il n'est pas possible, dis-je, que le mouvement s'accomplisse autrement que de la manière que nous venons d'indiquer.

Si l'air s'échauffait par la conductibilité de ses molécules, comme

(1) « La communication, dit-il, se fait-elle par un mouvement de transport de l'air, comme dans l'eau que l'on chauffe par le bas, ou bien la chaleur se communique-t-elle comme dans les corps solides et sans déplacement des molécules d'air ? Pour résoudre cette question, il suffit de se rappeler, ajoute-t-il, que l'équilibre d'un fluide est assuré quand ses couches sont rangées par ordre de densités croissantes de haut en bas, quelles que soient d'ailleurs les températures des diverses couches. Dans l'atmosphère, une couche inférieure est plus échauffée qu'une couche supérieure; mais aussi la première est plus pressée que la seconde, et il suffit que la compression dépasse l'effet de la dilatation pour que les couches demeurent dans leurs positions respectives. (Chap. XXI.) »

celle ci est inappréciable, le calorique devrait diminuer dans nos climats, non avec la loi connue de 1 degré par 185$^m$ ou par 191$^m$ de hauteur, mais nous passerions de températures élevées à des températures très-basses, pour peu que nous nous élévassions dans l'atmosphère.

En affirmant qu'entre une certaine limite les couches d'air qui reposent sur une plaine échauffée s'élèvent sans qu'elles changent de place, en affirmant que cette élévation oblige les autres couches supérieures à se comprimer et le centre de gravité à se déplacer, M. Saigey paraît faire marcher cet air comme un fluide renfermé dans un corps de pompe et comprimé par un piston de bas en haut.

Nous ne pouvons concevoir comment, dans une colonne d'air près d'un plateau, le centre de gravité puisse se déplacer à cause d'une compression introduite par la température, si l'on considère cet air en liberté tel qu'il est. Car il nous paraît évident que l'air qui repose sur la plaine près d'un plateau, aussitôt que dans un point quelconque de sa hauteur il a acquis une tension différente, quelque petite que soit cette tension, il doit la transmettre en tous les sens de proche en proche : par conséquent, depuis le premier moment qu'a lieu la plus légère variation de pression, l'air sera en mouvement. Par conséquent aussi, en admettant même que le centre de gravité de l'air, reposant sur la plaine puisse se déplacer, ce déplacement ne pourrait arriver sans que le centre de gravité de l'air reposant sur le plateau fût aussi déplacé, vu que les deux airs se trouvent à une distance peu considérable.

D'ailleurs on n'a aucune observation directe qui puisse confirmer cette hypothèse. Aucune observation barométrique n'a encore révélé des différences de pression aussi énormes que l'auteur les suppose. Est-il possible que dans une même couche d'air, entre la plaine et les plateaux, c'est-à-dire à la distance maximum de 3 à 400 mètres, puisse journellement exister une différence de pression de 9 millimètres ? (1)

(1) L'auteur suppose la plaine à la température seulement de 10 degrés ; mais en réalité, à l'équateur, où les vents ont lieu, la température de la plaine est sans comparaison plus forte. La différence de pression donc, entre la plaine et le plateau, devrait être plus grande.

Si ces différences existaient réellement dans tous les lieux avoisinant les plateaux (durant l'année entre les tropiques et dans nos climats au moins pendant l'été), on devrait éprouver tous les jours successivement deux vents, l'un chaud, l'autre froid, dirigés le premier vers les montagnes, le second en sens contraire. Bien loin de là, dans nos climats du moins, les vents, comme on le sait, viennent de différentes directions. Quiconque a habité pendant quelque temps des pays de montagnes a pu se convaincre que les vents soufflent d'un jour à l'autre aux mêmes heures sans aucune loi, tantôt froids, tantôt chauds, et qu'ils peuvent venir des différents points de l'horizon; et il n'est pas rare d'y voir régner le calme le plus complet, quoique dans la plaine la température soit bien élevée.

C'est un fait généralement connu, que les jours les plus chauds ne sont pas les plus agités par le vent. Comment expliquer ce fait? Il est hors de doute que, puisque la température est transmise d'une couche aux autres, l'atmosphère doit être en mouvement. Si ce mouvement n'est pas appréciable, c'est qu'il ne se fait pas en ligne droite, mais en tous les sens et d'une manière lente. Les couches inférieures se dilatent, il est vrai, par l'action de la température; mais, quelle que soit cette dilatation, il n'est pas possible que les couches supérieures s'élèvent sans changer leur place relative. Aussitôt qu'une petite dilatation a lieu, les couches supérieures doivent nécessairement descendre et s'entremêler. L'air des parties latérales, ne pouvant pas rester en repos, afflue aussi vers le lieu où se fait le mouvement; ce mouvement aura donc lieu en tout sens. Dans les parties inférieures de l'atmosphère il se produira une espèce d'oscillation rapide, une espèce de mouvement vibratoire que l'œil distingue clairement et que chacun a pu mille fois observer dans les lieux vivement frappés par le soleil.

Dans les grands déserts d'Afrique, le soleil presque continuellement perpendiculaire et le sol quartzeux peu conducteur du calorique permettent que la température s'élève pendant le jour jusqu'à 60° au-dessus du zéro. Là, plus que partout ailleurs, tous les jours devrait régner non un vent d'une médiocre intensité, mais un vent impétueux: le terrible vent du désert devrait alterner jour et nuit. L'air qui repose sur le désert pendant le jour devrait se diriger vers les

chaînes de montagnes : le contraire devrait arriver pendant la nuit, puisqu'il n'y a aucun obstacle qui puisse contrarier ces mouvements dans toute l'étendue du désert. Rien de semblable, cependant, n'a été indiqué jusqu'ici par aucun observateur. Au contraire, c'est aux heures du maximum de température, lorsque la chaleur est devenue insupportable, que l'air est plus calme, sans le moindre signe de courant proprement dit.

De fait, c'est pendant les plus fortes chaleurs que le mirage paraît : il n'est pas rare en Afrique ; on le voit souvent dans les plaines de l'Egypte. On sait que ce phénomène arrive justement aux jours les plus chauds et aux moments du maximum de température. Or, le calme de l'atmosphère est une condition indispensable pour que ce phénomène se déclare (1). La *Fata Morgana* (2), à Reggio, en Calabre, arrive fort rarement, bien que cependant la température de l'air et de la mer soit souvent assez élevée pour donner naissance à ce phénomène : c'est que l'atmosphère, sur le détroit de Messine, se

(1) En disant que le calme de l'atmosphère est une condition indispensable pour la formation du mirage, nous ne nions pas que le phénomène ne puisse avoir lieu avec une certaine agitation de l'air ; mais alors l'image des objets ne peut être que plus ou moins confuse. M. Rambosson, dans son charmant ouvrage sur l'*Histoire des météores*, rapporte quelques effets de mirage arrivés même avec une brise légère ; mais, dans tous les cas, l'image était bien loin de représenter l'objet. L'image, en effet, doit nécessairement être d'autant plus déformée que l'air est plus agité. Le plus grand nombre des faits décrits par cet habile narrateur sont cependant des mirages à image nette ; la netteté de l'image, comme nous l'avons déjà fait remarquer, ne peut avoir lieu qu'avec un calme absolu des couches d'air traversées par les rayons lumineux. Le lecteur trouvera à la fin du volume (note c), un merveilleux effet de mirage, à images très-nettes, décrit par la délicieuse plume de M. Julien, lieutenant de vaisseau de la marine française, dans son ouvrage *Courants et révolutions de l'atmosphère*.

(2) La *Fata Morgana* est une espèce de mirage plus surprenant peut-être et plus agréable que les autres. Il se passe quelquefois jusqu'à trois ans sans qu'il ait lieu ; mais, lorsqu'il doit arriver, les habitants de Reggio s'en aperçoivent au calme inusité de l'atmosphère. Ils se rendent en foule au rivage de la mer pour y attendre l'apparition du phénomène. On commence d'abord à voir sur les eaux des paysages féeriques, des pilastres, des arcades, des tours, des arbres, des jardins, des scènes différentes qui changent à chaque instant ; mais enfin, voilà Messine avec ses quais et sa population animée, qui se présente aux yeux des spectateurs avec tant de netteté, qu'on a pu reconnaître les personnes. Elles paraissent se promener parallèlement à la surface de la mer. Messine est à 16 kilomètres de Reggio.

trouve de même très-rarement dans la condition nécessaire d'un calme absolu.

Le phénomène du mirage, je parle du mirage qui donne assez nettement l'image des objets qu'il représente, parle trop éloquemment contre toute théorie des mouvements atmosphériques qui a pour base les différences de température occasionnées par le rayonnement. L'air qui repose près du sol est ici plus raréfié que l'air des couches supérieures : la densité va, jusqu'à une certaine limite, en augmentant avec l'élévation ; pourtant l'équilibre n'est pas rompu. Non seulement cet état anormal n'engendre aucun vent, mais il n'occasionne même pas une agitation quelconque appréciable : toute agitation de l'air troublerait l'image. Nous recommandons ce fait aux réflexions des météorologistes.

Il nous semble que ce que nous avons dit jusqu'ici relativement aux températures démontre jusqu'à l'évidence que l'action mécanique de la chaleur n'influe nullement sur la production des vents réguliers et à plus forte raison sur les autres, puisque l'action solaire ne donne lieu à aucune différence brusque sensible entre deux lieux voisins, condition nécessaire pour qu'il puisse se produire dans l'air un mouvement bien caractérisé dans une direction quelconque.

Pour constater une fois de plus cette proposition, il suffirait aux incrédules d'examiner attentivement les cartes météorologiques qui donnent les températures et les vents des points plus importants de l'Europe. Ils verraient que l'ancienne théorie, la théorie qui fait dépendre les vents des différences de températures, *n'a aucun fondement.*

M. C. Jellinck ayant étudié la marche des vents dans l'empire d'Autriche sur les cartes dressées chaque jour de l'année 1865 par l'Institut central de météorologie de Vienne, a trouvé qu'ils *n'ont aucune relation avec les températures*. Voici comment il s'exprime à ce sujet dans une communication faite à l'Académie impériale de Vienne, le 2 novembre 1866 : « L'expérience a prouvé que la supposition théorique selon laquelle des inégalités dans la distribution des températures devraient donner naissance à des mouvements atmosphériques impétueux, l'air froid se dirigeant sur les points où l'air est échauffé, *ne répond pas aux faits réels*. Des différences jusqu'à

20° centigrades peuvent avoir lieu en dedans du territoire de l'empire sans qu'il en résulte des courants atmosphériques intenses attribuables à ces différences. » (*Voir les Mondes,* t. XIII, page 106.)

Quel prix donc attacher à une théorie qui ne mérite même pas l'honneur de ce titre? Une théorie doit avoir pour elle au moins une certaine somme de faits. Celle-ci n'en a *aucun* : les faits, au contraire, lui sont manifestement opposés. La théorie qui a pour base les actions calorifiques est une supposition gratuite, une supposition dénuée de toute apparence de vérité, une supposition san *fondement*.

Ce que nous disons des lieux où la température augmente, on peut le dire aussi des parties de la terre dans lesquelles l'intensité d'irradiation diminue. La perte du calorique ne se fait pas d'une manière rapide, mais d'une manière lente. S'il est vrai, comme il a été démontré par Dulong et Petit, que le pouvoir émissif est égal au pouvoir absorbant pour un lieu quelconque, ainsi que pour la masse d'air qui le recouvre, le temps nécessaire pour acquérir ou pour perdre un certain nombre de degrés de chaleur sera absolument le même. A moins donc que d'autres causes ne viennent s'y ajouter, la perte du calorique d'un endroit quelconque par émission ne peut donner lieu à un vent appréciable.

Il nous reste maintenant à passer en revue les différentes causes auxquelles on attribue toutes les autres espèces de vents irréguliers ou accidentels. C'est ce que nous allons faire dans le chapitre suivant.

---

## CHAPITRE X.

### DE QUELQUES AUTRES CAUSES DES VENTS ACCIDENTELS.

La cause immédiate que l'on assigne aux vents accidentels ou généraux de nos climats tempérés est la condensation de grandes masses de vapeur qui, produisant un vide dans l'atmosphère, met en mouvement l'air environnant et détermine un courant vers le lieu où se fait la condensation. Cette théorie, si je ne me trompe, laisse elle-même un vide, et un vide si grand que la science, malgré tous ses efforts, n'a pu encore le combler.

Il ne suffit pas d'affirmer qu'une rapide condensation de grandes masses de vapeur donne naissance aux vents; il fallait surtout indiquer les causes capables de déterminer ou d'occasionner cette condensation. Il fallait faire voir qu'elles sont en harmonie avec les lois connues de la science et avec les observations météorologiques, et, de plus, il fallait démontrer que ces causes agissent instantanément afin que leur effet soit instantané, condition nécessaire pour que le vide puisse avoir lieu.

On dit que cette rapide condensation de vapeurs provient d'un abaissement subit de température; mais ce qu'on n'a pas su jusqu'à présent indiquer avec précision, c'est l'origine et les causes de ce refroidissement. On a prétendu, il est vrai, que l'inégale irradiation solaire, les inégalités du sol, sa différente nature, sa diverse conductibilité, l'inégalité de son pouvoir émissif et la formation des vapeurs dans les parties inférieures de l'atmosphère pourraient déterminer l'abaissement de la température. Mais il est évident que ces causes, à raison de la lenteur de leur action, ne sauraient occasionner, prises séparément ou même combinées, une rapide diminution de chaleur. On ne voit pas quelle liaison il existe entre ces causes qui présentent une certaine régularité

et les vents qui n'en présentent aucune, ni quelle proportion il y a entre des résultats souvent redoutables et des causes en elles-mêmes si peu énergiques.

Toutefois nous ne nous contenterons pas de cette seule considération: nous passerons en revue ces diverses causes, ou du moins les principales, afin de reconnaître quelle pourrait être la valeur de chacune en particulier et la valeur de toutes en général.

Nous avons suffisamment établi, en traitant de l'action de la chaleur, que jamais elle ne pourrait déterminer un brusque mouvement. A présent nous devons, avant tout, examiner ce qui se passe lorsque l'atmosphère contenant une certaine quantité de vapeur, la température vient à s'abaisser par la diminution graduelle de l'irradiation solaire.

Quelques mots suffiront pour montrer que la quantité de vapeur qui pourra se condenser par cette diminution de calorique ne peut donner naissance à aucun vent appréciable. En effet, comme nous l'avons déjà dit, partout, dans un espace terrestre quelconque comme dans l'atmosphère, le calorique diminue de la même manière qu'il s'accroît, c'est-à-dire lentement et progressivement; par conséquent la vapeur ne se condensera qu'avec lenteur et peu à peu. Et en supposant que la condensation de la vapeur puisse déterminer un vide, ce vide ne s'établira que lentement et dans de faibles proportions; et nous n'aurons ni mouvement rapide, ni vent appréciable : le mouvement ne prendrait pas la forme de courant, mais il resterait à l'état d'une agitation confuse analogue à celle que nous avons constatée dans l'air sec.

Combinez maintenant cette diminution de chaleur avec l'inégalité de la surface terrestre, pourra-t-il en résulter quelque notable et brusque abaissement de température? L'inégalité du sol influera, sans doute, sur la direction du vent une fois que celui-ci sera formé; mais certainement elle ne pourra jamais amener un refroidissement capable de faire naître le vent lui-même, car si en réalité l'élévation d'une montagne ou d'une chaîne de montagnes modifie la température de l'air ambiant, il est vrai aussi, comme nous l'avons déjà plusieurs fois répété, que la différence ne sera jamais très-sensible entre deux couches contiguës, verticales ou horizontales; il ne se passera donc

aucun phénomène capable de donner naissance à un refroidissement instantané.

Qu'on ne dise pas que les montagnes influent sur le refroidissement en ce sens que le vent déjà formé, en passant des plaines dans des gorges et dans des vallées, devient plus rapide ; car, bien que cet accroissement puisse être vrai, il doit néanmoins être proportionnel à la rapidité première du vent lui-même.

Supposons, en effet, qu'un courant d'air assez fort, au sortir de la plaine, pénètre dans une gorge de montagnes ; c'est alors seulement que sa vitesse s'accroîtra, parce que cette colonne d'air est forcée de se resserrer dans un espace plus étroit ; mais du moment que la colonne retrouve sa liberté, la vitesse se ralentit parce que la tension diminue. Cet air en mouvement se comportera tout au plus comme le volume d'eau d'un fleuve. Que le lit de celui-ci vienne à se resserrer subitement, la vitesse du liquide augmente ; qu'il s'élargisse de nouveau, le courant perd peu à peu la vitesse acquise et reprend sa vitesse première. Ces vitesses sont toujours en raison inverse du carré de la section du lit du fleuve.

Si donc, à raison du renforcement produit dans les gorges des montagnes, il y a condensation de vapeur, c'est là seulement qu'elle aura lieu ; mais si le vent était faible, on aura beau le faire passer par des gorges et des vallées étroites, on n'arrivera jamais à lui donner une force quelque peu considérable.

Il faut remarquer en outre que plus les sommets des montagnes sont élevés, plus ils sont exposés aux vents, et à des vents incomparablement plus violents que ceux de la plaine. Quelle que soit d'ailleurs la configuration du sol, si ce que l'on affirme des gorges des montagnes était vrai, les vents devraient y être plus forts qu'ailleurs. Or il en est tout autrement, car ils sont plus forts vers le sommet des montagnes, où cependant il n'existe aucune des causes regardées comme capables de leur donner naissance.

Que les vents déploient sur les montagnes une force qu'ils n'ont pas d'ordinaire dans la plaine, c'est un fait parfaitement connu.

« C'est un fait avéré, dit Saussure, que plus on s'élève sur les montagnes et plus on trouve les vents impétueux. J'ai éprouvé très-fréquemment que des vents qui paraissaient réguliers et d'une

force modérée dans la plaine, des vents de N-E., par exemple, qui se soutiennent quelquefois chez nous pendant plusieurs jours avec beaucoup d'uniformité, étaient sur les montagnes d'une violence telle que l'on avait la plus grande peine à y résister. J'ai parlé des violences du vent sur le Mole, et ce n'est point une particularité propre à cette montagne; j'ai éprouvé la même chose sur plusieurs autres sommets. Les académiciens français l'éprouvèrent sur les Cordillières, et tous les voyageurs sont d'accord sur ce point. (*Essais sur l'hygrométrie.* Essai 4, chapitre 3.) »

Sur le grand Pic d'Italie (*il gran sasso*), à certains jours, le vent souffle avec une violence à enlever tout être vivant qui s'y rencontrerait. Plusieurs fois des troupeaux entiers, qui, sur le déclin de l'automne, passaient des Abruzzes dans la Pouille, ont ainsi disparu. Rien de semblable n'arrive vers le pied de la chaîne de l'Apennin, qui sépare les deux Abruzzes-Ultérieures. Il est impossible d'admettre que c'est en traversant les gorges et les défilés que le vent est parvenu progressivement à la violence qu'il déploie sur les cimes : car presque toujours le vent du grand Pic se lève soudainement, sans autre indice que de légers nuages qui bientôt couvrent la montagne. Dès leur apparition, les habitants ont reconnu l'avant-coureur d'un vent impétueux, et c'est le seul signe que l'on puisse consulter dans les ascensions à ces hauts sommets. Souvent même le vent survient si à l'improviste que, malgré l'apparente sérénité du ciel, il faut se rendre à l'avis des guides et chercher un abri en arrière, autrement on mettrait sa vie en danger.

En 1858, je tentai l'ascension de ce Pic, par une des plus belles journées du mois de septembre; mais je fus forcé de rebrousser chemin après avoir parcouru la très-grande partie de la pente Sud-Ouest. Arrivé au glacier, nonobstant un calme parfait, on me fit remarquer, sur le sommet du grand Pic et sur les cimes voisines, la formation de vapeurs, qui dans peu, disait-on, seraient immanquablement suivies d'un vent auquel il serait dangereux de s'exposer.

Effectivement le sommet le plus élevé, la pointe du mont Corno qui se détache comme un éperon du flanc Nord-Est de la chaîne, se couvrit en un moment d'un rideau de nuages, lequel s'étendit bientôt au loin, enveloppant aussi les cimes voisines et que nous voyions s'agi-

ter, tandis que vers le bas et surtout dans la vallée nous voyions seulement les vibrations de l'air causées par une température fort élevée, sans qu'il y eût cependant le moindre signe de vent.

Non, l'irrégularité du sol, de quelque manière qu'on la combine avec les différentes causes mentionnées, ni toutes ces causes réunies, n'expliqueront point le phénomène qui nous occupe, parce qu'elles ne pourront jamais refroidir l'air au point d'amener entre deux couches peu distantes une différence de plusieurs degrés; condition indispensable pour la production de tout mouvement ou courant plus ou moins rapide.

Mais examinons plus attentivement ce qui se passe dans l'air au moment où les vapeurs y entrent, et rendons-nous un compte plus rigoureux de ce qui arrive aux vapeurs existantes déjà dans l'air lorsque dans les conditions ordinaires la température vient à s'abaisser.

La température de l'eau exposée à l'air libre n'égale jamais celle de l'air ambiant. Williams a été le premier qui observa ce fait au Bengale dans les fabriques de glace. Plus tard, avec des expériences soigneusement exécutées, on a démontré que la différence entre l'eau et l'air ambiant est d'autant plus grande que la saison est plus chaude. Lorsque la température de l'air se tient entre 6° et 5°, la température de l'eau ne diffère que d'un dixième de degré; la différence est d'un quart à un demi-degré lorsque l'air se tient entre 25° et 20°; et enfin lorsque l'air est arrivé à une indication thermométrique comprise entre 50° et 45°, l'eau se trouve être de 5° à 6° plus froide. Il résulte de là que les vapeurs qui se forment sur les surfaces libres des fleuves et des mers ne pourront jamais posséder une température plus élevée que celle de la couche d'air dans laquelle elles se sont formées; et, conséquemment, leur tension sera bien loin d'égaler la tension de la couche elle-même. En passant successivement de couche en couche, comme elles rencontrent une pression moindre, les vapeurs doivent se dilater et perdre une partie de leur calorique, leur tension n'égalera non plus, tant s'en faut, la tension d'aucune des couches qu'elles traversent.

Nous aurions pu nous passer de ce raisonnement en faisant directement remarquer que les vapeurs ne possèdent la tension de

l'atmosphère dans laquelle elles se forment qu'à la température de l'eau bouillante. C'est dans ce seul cas que la vapeur d'eau trouble l'équilibre de l'air en écartant et mélangeant ses molécules. A toute autre température, quelle qu'elle soit, les molécules de l'air ne seront pas déplacées.

Supposez, si vous le voulez, que la surface des mers soit à 35°, température que la mer n'atteint pas souvent, même aux régions équatoriales, la tension de la vapeur à la pression normale de 760$^{mm}$ serait à peine de 41$^{mm}$83; cela dans le cas où l'air soit saturé. S'il n'était pas saturé, et l'hygromètre marquait 72° (indication moyenne), la tension de la vapeur ne serait que do 20$^{mm}$91. Or, chaque molécule de l'air ayant une tension égale à celle de la colonne atmosphérique qu'elle supporte, il me semble assez évident que pour la faire changer de place, il faut exercer sur elle une pression plus forte que celle-ci. La tension de la vapeur, dans les conditions les plus favorables à la théorie, ne pourra donc nullement écarter les molécules de l'air.

Que réellement les vapeurs, soit qu'elles s'élèvent ou qu'elles restent dans une partie quelconque de l'atmosphère, ne dérangent pas les molécules de l'air, on peut le conclure, si je ne me trompe, de la loi de Dalton relative à la quantité do vapeur nécessaire pour saturer un espace.

La quantité de vapeur nécessaire pour saturer un espace et la tension de cette vapeur sont exactement les mêmes, que cet espace soit vide ou qu'il contienne de l'air ou un autre gaz; et la vapeur, en se condensant, se comporte de même dans les deux cas. Si donc on faisait subir au mélango une diminution de chaleur, la vapeur se condenserait commo si elle était seule; en d'autres termes, la condensation aurait lieu à la même température et à la mêmo pression. Ce qui signifie que les espaces occupés par les molécules de vapeur ne sont pas ceux quo les molécules d'air occupaient antérieurement, mais les espaces qui existaient entre elles. Par conséquent, la vapeur pourra se tenir entre les molécules de l'air sans les écarter ni les troubler.

Cette conclusion est d'autant plus admissible, que l'air n'est jamais saturé de vapeur: l'état de saturation serait souverainement

nuisible à la vie organique et animale. L'indication moyenne de l'hygromètre est de 72°; elle correspond à une tension moitié de celle que la vapeur pourrait avoir dans l'atmosphère, ou, ce qui revient au même, à une quantité de vapeur égale à la moitié de ce que l'air en peut contenir à saturation.

Gay-Lussac, dans son second voyage aérostatique, a vu qu'à la hauteur de 6,000 mètres l'hygromètre marquait à peine 26°; l'atmosphère, en ce point, ne contenait donc qu'un sixième de la vapeur de saturation. Étant monté encore 1,000 mètres, il rencontra une couche de nuages dont il évalua l'épaisseur à 5,000 mètres : on comprend combien petite devait être, à cette élévation, la quantité de vapeur, eu égard à celle qu'un volume d'air peut en contenir. Mais prenons seulement la hauteur moyenne des nuages qui est de 3,000 mètres environ, et qui est aussi la hauteur des expériences de Saussure. Comme ce physicien n'a jamais vu l'hygromètre marquer plus de 40°, il s'ensuit que la quantité de vapeur à cette élévation ne dépassait jamais un quart de celle qui eût été nécessaire pour saturer l'espace (1).

De ce que nous venons de dire, nous concluons que si, dans le cas d'un espace saturé, la place occupée par les molécules de l'air n'est pas changée, beaucoup moins le sera-t-elle dans les conditions ordinaires lorsque l'air est loin d'avoir atteint le point de saturation.

Du reste, quoi qu'il en soit de cette manière de voir, que les vapeurs déplacent ou non les molécules de l'air, il est hors de doute que celui-ci peut se refroidir d'un certain nombre de degrés sans

(1) Il semblera peut-être que ces résultats sont infirmés par les observations de MM. Kaemtz, Martins et Auguste Bravais, qui ont trouvé l'air des couches supérieures aussi humide que celui des couches inférieures; nous ne voulons pas décider la question. Disons toutefois que les résultats de Saussure sur les Alpes sont d'accord avec les observations de Gay-Lussac, qui a trouvé la vapeur distribuée dans l'atmosphère, selon la même loi de densité des couches atmosphériques, c'est-à-dire en proportion géométrique décroissante. Du reste, en admettant l'exactitude des résultats de MM. Kaemtz, Martins et Auguste Bravais, si l'on prend la moyenne des sept moyennes qu'ils ont obtenues en divers lieux, on arrive à une quantité de vapeur fort éloignée du point de saturation. Cette quantité serait seulement les 3,1 de la quantité que l'air peut contenir dans les mêmes conditions de température et de pression.

qu'il en résulte aucun changement d'état dans ces vapeurs, parce que les vapeurs qui n'ont pas atteint le point de saturation se comportent tout à fait comme les gaz. Or, la tension ou la force élastique des gaz et de l'atmosphère reste invariable lorsque sa température s'abaisse; car si d'un côté la tension tend à diminuer par cet abaissement, elle tend de l'autre à augmenter d'autant par la contraction de volume que cet abaissement occasionne. La force élastique des vapeurs mélangées à l'air doit donc de même rester invariable pour toute diminution de calorique qui ne serait pas capable de leur faire atteindre le point de saturation ; c'est ce qui a lieu précisément. Voilà pourquoi dans nos climats, même dans les plus fraîches nuits de l'été, c'est-à-dire aux époques des plus grandes différences entre le maximum du jour et le minimum de la nuit, il ne se produit qu'une lente rosée.

Il ne faut pas oublier, en outre, que la rosée n'a lieu qu'à la surface terrestre, à l'instant que les vapeurs viennent en contact avec le sol, lequel se refroidit plus rapidement que l'air. La différence sensible entre l'air et la terre est précisément, comme on le sait, la cause de ce phénomène. Il est donc évident que l'abaissement ordinaire et régulier de la température dans le sein de l'atmosphère non seulement ne produira pas une condensation brusque, capable d'occasionner un vide qui donne de la pluie, mais pas même une légère condensation à fournir de la rosée. Nous reviendrons plus loin sur ce même sujet.

Par les réflexions que nous venons de faire, on voit quelle foi on doit ajouter aux calculs par lesquels on s'efforce de prouver l'existence de vides énormes laissés par la condensation des vapeurs. On calcule ces espaces vides d'après la quantité de pluie tombée pendant un certain temps sur une surface donnée. Or, la pluie qu'on recueille dans un pluviomètre n'est pas le résultat de la condensation de la seule vapeur des couches superposées au pluviomètre, mais c'est surtout le produit de la condensation de vapeurs existantes dans des couches plus ou moins éloignées, comme le montre l'obliquité de la chute. La manière dont la pluie tombe nous révèle la présence d'un vent qui pousse et transporte vivement les vapeurs, les contraint d'occuper un espace bien plus resserré qu'avant le commence-

ment de la pluie et les force à tomber à l'état liquide loin du lieu sur lequel elles se trouvaient auparavant. Et comme on remarque que l'obliquité de sa chute est, à peu près, en raison de la quantité de la pluie, il s'ensuit que l'erreur du calcul sera d'autant plus grande que la quantité prise pour base avait été plus forte.

La quantité de pluie à laquelle on s'est arrêté est la plus grande qui se soit jamais vue, je ne dis pas dans nos climats, mais même à l'équateur. Évidemment, pour expliquer la généralité des vents accidentels, il ne faut pas recourir à la quantité d'eau qui tombe à l'équateur, ni aux quantités maxima des autres endroits de la terre, puisque ces quantités sont rares, tandis que les vents irréguliers et même impétueux sont assez fréquents.

Pouillet entre autres, qui n'a traité, il est vrai, cette question qu'en passant, a pris pour base 27 millimètres de pluie tombés en une heure sur un espace de 100 lieues carrées ; quantité si exorbitante que, dans les annales de la science, on trouve à peine un seul autre fait d'une quantité de pluie plus abondante. Ce fait a été constaté par Pagano ; il recueillit à Gênes, le 25 octobre 1822, 30 pouces de pluie en 26 heures, c'est-à-dire un peu plus de 81 centimètres, ce qui fait 31 millimètres par heure ! Mais cette étonnante quantité a été occasionnée par une trombe, et le pluviomètre s'est probablement trouvé le long du passage du centre du météore.

Quoi qu'il en soit, 27 millimètres de pluie tombée sur une surface de 100 lieues carrées est un fait si rare, que jamais peut-être il n'a été observé. Je sais que Maillard, à Bourbon, en a précisément recueilli 27 millimètres en une heure, mais j'ignore s'il a pu constater que la même quantité soit tombée sur toute l'étendue de 100 lieues carrées.

Il me semble que pour rendre raison d'un phénomène ordinaire on aurait dû prendre pour base une quantité moyenne, ou du moins une quantité fréquemment observée.

La moyenne de vingt-deux ans d'observations faites à la cour de l'Observatoire de Paris est de 57 centimètres par an, ce qui donne pour une heure $0^{m}065$, quantité très-petite et qui n'a aucune analogie avec la base rapportée ci-dessus.

Comme je conviens qu'il ne serait pas rationnel de s'arrêter à la

moyenne d'un lieu quelconque, parce qu'un phénomène extraordinaire et irrégulier ne pourrait s'expliquer par une cause régulière et permanente, je prendrai pour base une quantité plus forte. La moyenne de l'équateur est de 300mm par an ; par jour elle sera donc de 8mm22, et par heure de 0mm34, c'est-à-dire la moyenne la plus considérable de tous les points de la terre, quantité huit fois environ plus petite que la quantité prise par Pouillet.

Mais l'erreur radicale est dans ce qu'on a pris pour base le vide produit par la chute de la pluie, parce que la pluie, même la plus légère, est un phénomène qui ne peut avoir lieu par un abaissement de température qui reconnaisse son origine dans les causes ordinaires auxquelles on l'attribue. S'il était vrai que la pluie est le résultat d'une diminution de calorique, il faudrait nécessairement supposer que les vapeurs rencontrent brusquement des couches d'air d'une température considérablement plus basse que la leur, ce qui, nous l'avons vu, n'a pas naturellement lieu dans l'atmosphère.

Il y a des physiciens qui ne voudraient pas admettre comme vraies les lois du décroissement régulier du calorique, selon les divers climats et les différentes hauteurs et les diverses heures du jour. Ils s'appuient sur la basse température de 39° au-dessous du zéro trouvée à la hauteur seulement de 7,000 mètres par MM. Bixio et Barral, dans leur ascension aérostatique du 26 juillet 1850. Mais quelle conclusion pourrait-on tirer d'une seule observation? D'abord, des savants distingués ont douté et doutent encore de la vérité de ce fait, parce que les observateurs, n'ayant pas prévu qu'ils auraient rencontré des températures si basses, ne s'étaient pas munis d'instruments capables de les indiquer. Le mercure de leurs thermomètres se contracta tellement qu'il rentra entièrement dans le réservoir. Bien loin d'en douter, nous croyons, au contraire, que la température a été trouvée telle que les intrépides aéronautes l'affirment ; cependant, nous ne pouvons accorder que cette température soit propre à la couche d'air ou d'un nuage qui se trouve à la même hauteur. Nous ne voyons pas comment de ce seul fait on peut raisonnablement conclure d'une manière générale que dans le mois de juillet, à 7,000 mètres d'élévation, la température soit naturellement à 39°. Gay-Lussac, à 7,016 mètres, avait trouvé une température de 9°5 seulement; les 30° de différence

sont donc une anomalie. Les expériences faites par d'autres aéronautes et par d'autres observateurs à l'aide de ballons captifs donnent le même résultat trouvé par Gay-Lussac. Les expériences faites en Angleterre, et que nous avons citées à la fin du chapitre VI de ce livre, tendent à prouver que la diminution de température devient moins sensible à mesure qu'on s'élève.

Bixio et Barral, dans leur première ascension, pour eux si malheureuse, du 29 juin de cette même année, n'avaient-ils pas eux-mêmes constaté la vérité de la loi formulée par Gay-Lussac? Cette fois, ils auraient dû aussi trouver la température bien basse, puisqu'ils ont traversé une couche de nuages de l'épaisseur de 4,200 mètres avec un vent violent et sous une pluie presque torrentielle. Les 39° qu'ils ont trouvés un mois plus tard ne sont donc qu'une anomalie, comme on peut d'ailleurs s'en convaincre d'après la relation des deux aéronautes eux-mêmes.

Nous lisons en effet que, jusqu'à la hauteur de 6,400 mètres, la température a baissé graduellement; ce ne fut que durant le trajet des derniers 600 mètres que la loi fit défaut. Ils avaient traversé un nuage qui n'avait pas moins de 5,000 mètres d'épaisseur, dont la partie supérieure était formée de petits cristaux de glace tous transparents.

Dans le voyage aérien exécuté par MM. Wilfrid de Fonvielle et Gaston Tissandier, le 7 février 1869, ces aéronautes trouvèrent, à 1,000 mètres de hauteur, un courant d'air chaud de 28°. C'est la contre-partie du voyage de Bixio et Barral. Quelle conclusion tirer de ce fait? Est-il permis de formuler une opinion quelconque relativement à la loi de la diminution ou augmentation de température dans les couches de l'atmosphère?

Tout cela nous montre que le froid si intense essuyé par ces derniers doit être attribué à une cause accidentelle; la loi du décroissement reste donc vraie. Par conséquent, au lieu de recourir à ce refroidissement pour expliquer la chute de la pluie, le vide qu'elle peut laisser et le vent qui pourrait en résulter, il faudrait commencer par trouver une explication satisfaisante de ce froid lui-même.

S'il n'existe donc naturellement dans l'atmosphère aucune cause

capable d'exciter un refroidissement brusque, s'il n'arrive jamais par des causes ordinaires et régulières que deux couches voisines diffèrent sensiblement de température, il nous paraît évident que la pluie ne peut être que l'effet de causes extraordinaires plus ou moins puissantes, en rapport avec la quantité de pluie elle-même. C'est donc bien à tort qu'on assigne la chute de la pluie comme une cause première du vide et du vent que ce vide occasionne.

Pour bien raisonner, il faudrait d'abord démontrer qu'il existe naturellement ou d'une manière quelconque plusieurs causes capables de faire baisser la température assez brusquement pour déterminer la pluie avant toute agitation de l'air. Il faudrait, dis-je, prouver qu'avant tout se produit le refroidissement, que de là résulte la pluie, que le vide est l'effet de celle-ci, et enfin que le vent n'est que la conséquence naturelle de ce dernier. Lorsqu'on aura démontré *que ces phénomènes se suivent dans l'ordre que nous venons d'indiquer*, alors seulement on sera en droit de considérer la théorie actuelle des vents dont nous parlons comme une théorie rationnelle. Mais jusqu'ici rien n'a été fait pour établir cet enchaînement. Le pourra-t-on à l'avenir ? Nous croyons pouvoir le nier ; car il n'est pas difficile de démontrer, ce nous semble, que les choses se passent dans l'atmosphère dans un ordre contraire et d'une manière tout-à-fait différente.

En effet, supposons, pour un instant, qu'il arrive tout à coup dans un point de l'atmosphère, par une cause quelconque, un refroidissement aussi intense qu'il vous plaira, *il ne produira jamais la pluie.*

D'après les expériences qu'il nous est permis de répéter avec nos appareils, et surtout d'après ce qui a lieu naturellement, nous savons que la diminution de calorique, tant qu'elle ne dépasse pas le zéro, ne donne qu'une fine et lente pluie, laquelle, sans doute, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, est insuffisante à occasionner un vide quelconque appréciable. Si la température descend au-dessous du zéro, au lieu de la pluie, on aura de la neige. Les flocons de neige sont des vapeurs ou plutôt des gouttelettes d'eau très-petites, surprises brusquement par de basses températures qui les font passer



à l'état solide (1). Les basses températures ne sont donc pas capables d'occasionner la pluie, puisqu'elles précipitent les vapeurs sans leur donner le temps de se rapprocher et de se réunir en gouttes sensibles.

Je sais que la généralité des physiciens et des météorologistes affirment que les vapeurs commencent à se condenser lorsqu'elles rencontrent des couches d'air à une température inférieure à la leur, et que les gouttelettes très-petites ainsi formées grossissent en descendant dans les couches inférieures plus chaudes. Kaemtz dit que ces gouttelettes condensent autour d'elles les vapeurs de la même manière qu'une carafe condense celles qui se déposent sur ses parois. Mais cette manière de raisonner nous paraît en opposition avec les faits.

En réalité, les couches plus chaudes par lesquelles on fait passer les premières gouttelettes ne peuvent pas se trouver saturées de vapeur : un nuage n'est saturé de vapeurs que quand il se résout en pluie. Qu'arrive-t-il donc aux vapeurs de la couche que les gouttelettes traversent et aux gouttelettes elles-mêmes? Les vapeurs n'ayant pas atteint le point de saturation ne peuvent pas se condenser sur les gouttelettes, celles-ci donc ne pourront pas grossir; par conséquent il n'y aura point de pluie proprement dite. Bien loin de là, ces dernières doivent plutôt diminuer de volume, puisque l'eau et la glace elle-même se vaporisent toujours à toutes les températures lorsque l'air environnant n'est pas saturé.

D'un autre côté, en supposant même que les vapeurs se condensent sur les premières gouttelettes, il suffira de ne pas perdre de vue l'exemple de la carafe pour se convaincre que la pluie qu'on pourrait obtenir de cette façon ne pourrait jamais être comparée à celle qui s'élabore réellement dans l'atmosphère. La surface des gouttelettes est infiniment petite vis-à-vis de la superficie énorme de la carafe à laquelle on les compare; et cependant quel temps ne faut-il pas pour qu'au plus fort de l'été, sur une carafe se forme une

(1) Nous avons obtenu nous-même des cristaux artificiels de neige en projetant de loin, contre une surface soumise à un mélange réfrigérant et recouverte d'un duvet léger, une gerbe d'eau très-divisée; les cristaux de neige sont donc des gouttelettes d'eau surprises par le froid. Nous décrirons ces expériences curieuses dans un autre travail.

goutte capable de vaincre par son poids l'adhésion au verre, une goutte de moyenne grandeur? Il ne faut pas moins de plusieurs minutes. Il faudrait donc des heures pour que les gouttelettes rudimentaires qui traverseraient des couches d'air chaud, même dans la supposition qu'elles ne se vaporisent pas, se convertissent en gouttes égales à celles de la carafe!

Bien plus, en admettant même que les gouttes se forment par accroissement successif, pourrait-il en résulter un vide capable de donner naissance au vent? Comme la condensation ne se fait que peu à peu, il ne pourra pas y avoir rupture appréciable d'équilibre; l'air restera entièrement calme. Non, cette manière d'expliquer la pluie, ainsi qu'il a été dit, non seulement n'explique rien, mais elle se trouve en désaccord et en contradiction avec les procédés de la nature.

Nous avons déjà fait remarquer que les vapeurs mélangées à un volume de gaz se comportent tout-à-fait comme ceux-ci tant qu'elles n'ont pas atteint le point de saturation. La quantité de vapeur que l'atmosphère contient, à toute autre condition égale, est d'autant plus grande que la température est plus élevée; mais c'est précisément alors aussi que le point de saturation est plus éloigné. Il faudra, par conséquent, une diminution de chaleur plus considérable pour que l'air soit ramené à ce point.

Supposons que la température de l'air soit de 18°,9 (c'est la température moyenne de Paris en juillet, mois le plus chaud de l'année); à cette température, la tension maximum de la vapeur d'eau, d'après les tables de M. Regnault, est de 16mm25. Supposons que l'air contienne la moitié de la vapeur qu'il peut contenir, ce qui n'arrive pas ordinairement, il suffira de prendre 0,50 de 16mm25 pour obtenir la quantité absolue, qui est 8mm12. En consultant de nouveau les tables, je trouve que cette quantité correspond, à un centième près, à la tension maximum de la vapeur lorsque la température est 8°,2; en d'autres termes, il faut que la température baisse de 18°,9 à 8°,2 pour porter l'air au point de rosée. Il peut donc survenir une diminution de calorique de 10°,7 sans qu'il tombe sur Paris la moindre gouttelette de pluie, car la tension de la vapeur est restée la même. Excluez maintenant l'action d'un vent

plus ou moins prononcé, vous ne trouverez aucune autre cause capable d'amener d'une manière brusque cet abaissement. Je dis d'une manière brusque, car sans cela aucun vide n'est possible.

Ce n'est pas tout. Le poids de la vapeur répandue dans l'air à ces mêmes conditions est si peu de chose, que quand même elle pût passer toute à l'état liquide, nous n'aurions pas la pluie.

Par un raisonnement analogue à celui que je viens de faire, je trouve qu'un mètre cube d'air ne contient pas tout-à-fait 10 grammes d'eau, ou 1 gramme par 100 litres. La vapeur d'eau occupe donc un volume 100,000 fois plus grand qu'à l'état liquide. Pour que cette vapeur puisse se précipiter toute à l'état de pluie, il faut en rapprocher les molécules, ou par la pression, ou par une diminution de température, ou par les deux causes à la fois; mais dans tous les cas il faut que chaque mètre cube de vapeur soit réduit à un volume 100,000 fois plus petit, ce qui ne peut arriver sans que l'air lui-même dans lequel la vapeur est répandue soit aussi contracté dans les mêmes proportions. Or, si la pluie est la cause du vent, on ne peut nullement faire intervenir le vent pour comprimer l'air : la condensation de la vapeur ne pourrait avoir lieu que par une diminution de température de plusieurs milliers de degrés! Il est inutile de nous arrêter à faire ressortir l'impossibilité d'une diminution de température si formidable, qui ne serait en rapport avec aucune des forces ordinaires de la nature.

Evidemment les choses ne peuvent se passer ainsi dans l'atmosphère; car quand même la condensation de toute la vapeur existante dans un volume d'air arriverait ou par un abaissement de température, ou par une augmentation de pression, ou par l'action de ces deux causes réunies, cette pluie ne serait nullement en rapport avec les quantités surprenantes que nous en voyons parfois tomber en quelques instants.

Ce n'est pas ici le lieu d'étudier le mode de formation de la pluie : nous nous proposons d'en parler au long dans un ouvrage qui fera suite à celui-ci. Toutefois, d'après tout ce que nous avons dit jusqu'à présent, le lecteur comprend que le refroidissement, quel qu'il soit, ne pourra jamais donner naissance à ce météore. La pluie ne peut résulter de la contraction des seules vapeurs qui existent

dans une portion quelconque de l'atmosphère ; il faut que les vents les accumulent de différentes parties du ciel en proportions bien plus considérables que celles qu'un volume d'air peut contenir aux mêmes conditions de température et de pression.

D'après nous, *le vent n'est pas l'effet* de la pluie ; mais *celle-ci est le résultat de la contraction des vapeurs déterminées par le vent.*

Plusieurs physiciens, sans s'en douter, ont donné de la pluie cette même explication. Dans différents traités de physique et de météorologie, on avance, en effet, que la pluie est produite par la rencontre de deux courants d'air de températures différentes. Le courant froid, y est-il dit, oblige les vapeurs contenues dans l'air chaud à se condenser et à se convertir en pluie. Si on réfléchit seulement à la remarque que nous avons faite plus haut relativement à l'effet de ces basses températures sur la vapeur, on ne tardera pas à se convaincre que *ce n'est pas la basse température du courant du Nord qui condense les vapeurs,* mais *la pression qu'il exerce sur les vapeurs du courant plus chaud.*

En outre, ces mêmes physiciens qui ont expliqué les pluies par la rencontre de courants à températures diverses ont aussi donné pour origine des courants la formation de la pluie ! C'est là évidemment un vrai cercle vicieux qui trahit l'impuissance où nous sommes de nous rendre un compte exact de ces phénomènes tant que nous ne quitterons pas la voie suivie jusqu'à présent.

En résumé, pour que la condensation des vapeurs puisse être regardée comme la cause immédiate ou médiate d'un vent de quelque intensité, il faudrait prouver d'abord que cette condensation *précède* tout mouvement atmosphérique, et, de plus, qu'elle est capable de donner naissance à une pluie abondante. Or, nous croyons au contraire avoir démontré : 1° Que quand l'air est calme, les vapeurs ne peuvent pas rencontrer tout à coup des températures sensiblement plus froides que la leur. Il en résultera donc, tout au plus, une espèce de lente rosée; le vide sera inappréciable et par conséquent le vent nul. 2° Même en supposant que le passage de la vapeur à des couches d'air sensiblement plus froides s'opère brusquement, il ne pourra pas amener la pluie. Le refroidissement, quel qu'il soit,

ne suffit pas pour la déterminer sans une *augmentation soudaine de pression*. C'est la seule cause ou du moins la cause principale du rapprochement des vapeurs et de leur passage à l'état liquide. Cette augmentation de pression serait inintelligible sans l'existence préalable d'un vent. D'après cela, *la pluie et le vide ne peuvent être attribués à l'action du vent; ils n'en sont que l'effet.*

Avant de terminer ce chapitre, nous ne pouvons pas nous empêcher de faire encore sur le vide quelques réflexions qui se présentent tout naturellement à notre esprit.

Si le vide était la cause immédiate du vent, celui-ci serait un mouvement de va et vient dans les masses environnantes jusqu'aux points extrêmes auxquels le mouvement lui-même peut s'étendre; ce serait une sorte de mouvement oscillatoire dû à l'élasticité de l'air, et plus ou moins étendu suivant les dimensions du vide lui-même. Il résulte de là que le vent produit devrait être dirigé d'abord vers le lieu où se fait le vide, ou vers le lieu où tombe la pluie, et ensuite en sens contraire et ainsi successivement. Le mouvement devrait être semblable à celui que produit dans l'air la vibration d'un corps sonore: nous devrions avoir des ondes condensées et des ondes dilatées dans toutes les directions. C'est le contraire qui arrive. Le vent commence et vient du lieu où tombe la pluie; il se propage dans le sens de celle-ci, et par conséquent dans une direction contraire à celle qu'il devrait tenir; et, qui plus est, il peut continuer longtemps sans jamais changer de direction.

En outre, si le vent était produit par un vide, pourrait-il jamais avoir de la durée? Il nous paraît évident que l'air, à cause de son élasticité, ne tarderait guère à retrouver sa tranquillité première aussitôt que la cause qui la lui avait fait perdre aurait disparu. Le vent devrait se ralentir peu à peu précisément comme les vibrations d'une corde et de l'air qui l'entoure; de tels vents, non seulement ne pourraient durer des semaines entières, mais pas même pendant une heure de suite. De plus, le vent produit par une telle cause devrait perdre continuellement de sa tension, jamais nous n'aurions de ces vents qui, après avoir soufflé quelque temps, augmentent d'intensité, parce que le mouvement de l'air occasionné par le vide ne peut que diminuer. On voit, au contraire, des vents durer

plusieurs jours sans changer de direction, et, ce qui est plus remarquable, souvent sans rien perdre de leur intensité ; il arrive même parfois qu'au lieu de s'affaiblir ils deviennent impétueux.

Comment pourrait-on, par le vide résultant d'une rapide condensation de vapeurs, expliquer tant de circonstances compliquées d'accroissement et de diminution d'intensité, qui se succèdent sans aucune loi et en même temps sans le moindre changement de direction ? Si le vide en est la cause, comment se fait-il donc que le premier coup de vent n'est pas toujours le plus fort ? Pourquoi au contraire va-t-il parfois croissant peu à peu ? Quelle raison pourra-t-on donner de ces bouffées soudaines suivies d'un silence parfait ou tout au plus d'une brise légère ? Quelquefois on remarque qu'après un coup de vent plus ou moins violent, l'air devient calme, et de suite il survient un souffle tantôt plus, tantôt moins fort que le premier. D'autrefois deux ou trois bouffées se suivent presque sans interruption, mais de manière cependant à pouvoir les distinguer l'une de l'autre par leur intensité, intensité quelquefois plus grande dans le premier, ou réciproquement ; puis s'établit un silence plus ou moins prolongé, et ainsi de suite pendant des heures et même pendant des semaines entières sans qu'il soit possible d'entrevoir aucune loi.

Il ne faut pas perdre de vue que le vent ne donne pas à l'air un mouvement continu ; par conséquent la cause ou la force qui le produit doit exercer son action, non d'une manière continue, mais à des instants distincts et interrompus par un temps plus ou moins long. Pour qu'on puisse raisonnablement l'attribuer au vide, il faudrait démontrer l'existence d'une cause qui occasionne non un seul, mais plusieurs vides successifs aussi capricieux que le sont les bouffées du vent, et parmi celles que la science assigne, il n'y en a aucune qui agisse de la sorte.

Ajoutons encore, que jusqu'à présent on n'a pas même essayé de donner une explication quelconque des vents locaux qui soufflent entre un espace assez borné et par un ciel parfaitement serein. Tel est, par exemple, le vent *joran* sur le lac de Neufchâtel. Dans les plus beaux jours de l'été il descend si soudainement des montagnes du Jura que les pêcheurs eux-mêmes sont incapables de prévoir son

arrivée. Il se déchaîne avec une telle furie que quelques instants suffisent pour bouleverser le lac et pour lancer près du rivage les vagues à plusieurs mètres de hauteur.

Ce vent n'est pas le résultat d'un vide, puisqu'il n'est ni précédé, ni suivi de la pluie. On ne peut non plus lui donner l'explication de la brise des montagnes, parce que, premièrement l'intensité de cette dernière ne peut nullement lui être comparée; secondement, parce que les brises des montagnes commencent après le coucher du soleil, le joran aux heures plus chaudes du jour; en troisième lieu, parce que ce dernier n'est pas un vent frais; c'est de l'air chaud qui, au lieu de descendre des montagnes sur le lac, aurait dû plutôt s'élever vers le haut.

Donc, pour conclusion dernière de ce chapitre, nous pouvons affirmer que l'explication qu'on donne aux vents généraux ou accidentels n'est rien moins qu'acceptable. Et pour conclusion finale de ce livre, nous sommes aussi en droit d'affirmer que les causes assignées jusqu'ici aux vents soient réguliers, soient accidentels, ne sont pas capables de donner lieu à ces phénomènes, car nous croyons avoir suffisamment démontré qu'entre elles et ceux-ci il n'y a *aucune* ou *presqu'aucune relation*. Nécessité, par conséquent, de leur chercher une autre explication. A mon avis, on n'arrivera à trouver aucune solution satisfaisante tant qu'on continuera à considérer les vents comme des effets immédiats des inégalités de température ou de l'action de ces inégalités combinées avec les autres causes auxquelles on les attribue généralement.

Quant à moi, bien loin de voir dans les vents les effets des différences de température ou d'un refroidissement instantané ou d'une condensation de vapeurs, je le répète, *ils n'en sont que la cause :* les vents ne sont pour moi que *des effets d'actions électriques.* Je n'entends pas cependant affirmer que l'électricité en soit la cause unique; elle en est la première et la plus puissante.

On n'ignore pas la puissance surprenante de cette force mystérieuse de la nature que nous appelons l'électricité. Elle se révèle à nous non seulement par les terribles phénomènes bien connus : le tonnerre et la foudre, mais elle se manifeste aussi bien plus souvent, sans qu'on s'en soit douté jusqu'ici, par d'autres effets plus redoutables

encore. Ce sont les mouvements qu'elle imprime à l'atmosphère, mouvements qui se traduisent souvent, il est vrai, par une brise légère et bienfaisante qui anime la nature, mais qui souvent aussi constitue l'ouragan et le cyclone impétueux qui bouleversent la surface de la terre.

Parmi les causes que l'on pourrait assigner aux agitations atmosphériques, il n'y a que l'électricité qui soit en rapport avec les effets désastreux qu'elles sont capables de faire naitre. Toute autre cause connue est un infiniment petit par rapport à ces effets, tant la disproportion en est frappante !

Pour la démonstration de la proposition que nous avons énoncée et pour l'établissement de nos théories, il nous est nécessaire de chercher l'origine, de sonder la nature et d'étudier les actions de l'électricité dans l'atmosphère et sur la surface de la terre. Ce sera le sujet du livre suivant.

---

# LIVRE II

## NATURE DE L'ÉLECTRICITÉ, SES CAUSES, SES EFFETS.

### CHAPITRE I.

#### NATURE DE L'ÉLECTRICITÉ.

Dès qu'on commença à étudier les phénomènes électriques, il y eut deux manières de les expliquer. Les uns attribuaient les attractions et les répulsions à l'action de deux fluides distincts, exerçant chacun une répulsion sur ses propres molécules et une attraction sur les molécules de l'autre et sur celles de la matière pondérable. Une seconde hypothèse tenait qu'il n'y avait qu'un seul fluide, exerçant une répulsion sur ses propres molécules et une attraction sur la matière pondérable.

La première hypothèse est due à Dufay, pharmacien français, qui la présenta comme un principe capable, selon lui, d'expliquer le plus grand nombre des phénomènes électriques. Symmer lui donna plus tard la forme d'une théorie complète. Il ajouta que de l'union des deux fluides il résulte un fluide neutre, incapable de produire aucun phénomène électrique, parce que les effets que chacun d'eux produirait séparément se neutralisent quand les fluides se trouvent réunis.

L'autre théorie a été proposée par Franklin. Il suppose que tous les corps possèdent une certaine quantité d'un fluide subtil et homogène disséminé entre leurs molécules. La proportion plus ou moins

forte de cette dose naturelle constitue la diversité des états électriques. De là les dénominations de fluide *positif* et de fluide *négatif*, qui furent adoptées plus tard par les partisans de l'autre hypothèse, à la place des expressions de fluide *vitreux* et de fluide *résineux* qu'on avait d'abord choisies.

L'enseignement public n'a pas fait un pas. On en est encore à donner des phénomènes électriques les mêmes explications qu'on donnait à l'origine de la science. En France, l'hypothèse de deux fluides a tellement prévalu, que dans l'enseignement public à peine fait-on mention de l'autre hypothèse. En Italie, au contraire, on a généralement embrassé la théorie de Franklin.

Il est vrai de dire que les expressions de fluide *positif* et *négatif* ne sont pas prises dans leurs acceptions rigoureuses. On a soin de faire bien comprendre aux élèves qu'on doit regarder l'hypothèse de deux fluides commo exprimant deux états dans lesquels l'électricité se manifeste sous l'aspect de deux forces égales et contraires tendant à se faire équilibre.

Dans l'une et dans l'autre hypothèse on ne donne rien de précis sur la nature de l'électricité. Le mot *fluide*, dans l'hypothèse de Franklin, était pris dans le sens d'une matière subtile *sui generis* réellement existante, ayant beaucoup d'analogie avec le feu ordinaire, mais dont la nature était inconnue. Dans l'autre hypothèse, cette question restait encore plus dans le vague. D'abord, dans l'origine de la théorie, on admettait deux fluides réels, deux matières subtiles diverses ou distinctes l'une de l'autre. Leur nature, comme dans l'hypothèse précédente, était inconnue. La nature du fluide neutre restait encore plus problématique. On a dit seulement de ce fluide qu'il résultait de la réunion des deux fluides actifs; on a supposé par conséquent uno espèce de fluide *inerte*, ce qui nous a toujours paru un contre-sens. Lorsqu'on a commencé à considérer les deux fluides comme deux modes ou deux états différents de l'électricité, nous n'avons acquis aucune connaissance de plus sur sa nature, et les explications des phénomènes ne sont pas devenues pour cela plus rationnelles.

Cette hypothèse parut plus simple et plus vraie surtout depuis qu'Epinus, ayant soumis la théorie de Franklin au calcul, avait obtenu un résultat contraire à celui qu'il en attendait.



Epinus partit de cette hypothèse, que lorsque deux corps A et B sont à l'état *naturel*, la matière pondérable de chacun d'eux agit par attraction sur le fluide électrique de l'autre, et que le fluide électrique agit par répulsion sur ses molécules. En sorte que, d'après lui, il y avait trois forces en jeu, deux attractives et une répulsive : 1^re^, attraction de la matière pondérable de A sur le fluide électrique de B; 2^e^, attraction de la matière pondérable de B pour le fluide électrique de A; 3^e^, répulsion du fluide électrique de A sur le fluide électrique de B. En supposant, comme il le faisait, ces trois forces égales, il était contraint d'admettre une quatrième force répulsive pour contre-balancer une des forces attractives. Cette quatrième force paraissait encore plus nécessaire pour se rendre compte des répulsions qui se manifestent entre les corps négativement électrisés. Or, cette répulsion à distance entre les molécules pondérables ne pouvant être admise, la théorie fut rejetée par les partisans de l'hypothèse contraire. Mais comme Epinus était parti de suppositions gratuites qui ne devaient, par conséquent, le conduire qu'à des résultats sans valeur, ceux qui défendaient la théorie de Franklin persistèrent dans leur opinion.

Kinnersley d'abord, puis Beccaria, Morgan, Singer, Zamboni, et surtout Volta, pour éviter l'écueil contre lequel Epinus avait donné, n'admirent pas la réalité des répulsions entre les corps négativement électrisés. Sans nier que les molécules de l'électricité, lorsque le fluide est à l'état libre, tendent à exercer entre elles une espèce de répulsion à la manière des fluides élastiques, ces physiciens affirmaient que l'attraction d'un corps électrisé négativement sur un autre à l'état naturel, ainsi que la répulsion entre deux corps négativement électrisés, provenait de l'action du fluide des corps environnants. Quoique ces corps absolument parlant fussent à l'état naturel, néanmoins relativement aux corps négatifs ils étaient positivement électrisés *par influence*.

Cette dernière expression, d'après nous, était de trop. La difficulté qu'on avait voulu éluder restait encore dans son intégrité; car il n'est pas aisé de comprendre comment un corps appauvri de fluide puisse électriser par influence un corps qu'on suppose en posséder une dose plus grande. Telle est, en effet, d'après la théorie, la condition d'un

corps négativement électrisé par rapport à un autre à l'état naturel. La difficulté aurait disparu si on avait pris l'état *naturel* dans son vrai sens.

*L'état naturel* relativement à l'électricité peut avoir deux acceptions : 1° On peut le prendre ou pour une quantité de fluide déterminée en chaque corps et qui lui est nécessairement due par sa propre nature ; 2° ou bien pour une quantité variable selon les circonstances. En prenant l'expression dans le premier sens, on aurait eu un *état naturel absolu*, de même que *l'excès* ou une *perte* de cette dose aurait constitué un état *positif ou négatif absolu*.

En prenant l'expression dans l'autre sens, *l'état naturel* comme un *excès* ou une *perte* d'électricité ne seraient que des phénomènes relatifs. Un corps aujourd'hui à l'état naturel pourrait être demain à l'état positif ou négatif avec la même dose d'électricité, par une diminution ou une augmentation du fluide dans les corps environnants.

L'état *naturel absolu* ne pourrait être admis; rien d'absolu n'existe dans la nature. Ceux qui patronaient la théorie d'un seul fluide auraient dû prendre l'expression dans le sens relatif. C'était là probablement leur pensée; mais, dans tous les cas, on ne l'a pas prise dans ce sens pour l'explication des phénomènes qui se manifestent entre les corps négativement électrisés et entre ceux-ci et les autres à l'état naturel.

Quoi qu'il en soit, tous les phénomènes électriques auraient dû être attribués, comme nous venons de le dire, non à un excès ou à une diminution d'une dose *déterminée* de fluide, mais à un excès ou à une diminution *relative*. De cette façon, l'état naturel disparaît à la première apparition des répulsions ou des attractions. C'est-à-dire par cela même que de deux corps l'un a perdu une dose de fluide, l'autre se trouvera en posséder plus que lui. L'attraction qui en résulte aurait donc dû être regardée non comme un phénomène *d'influence*, mais comme une attraction du fluide du second pour la matière pondérable du premier.

La théorie de Franklin avec cette modification aurait été, non seulement plus simple que l'autre, mais plus rationnelle, plus conséquente, plus en rapport avec la simplicité des actions de la nature, plus en

harmonie avec les tendances de la science, plus apte à expliquer les phénomènes, et, par cela même, sans comparaison préférable à la théorie de deux fluides. Mais ces deux théories ont déjà fait leur temps.

Dans ces dernières années, un grand nombre de faits ayant démontré une relation intime entre la chaleur, la lumière, l'électricité et le magnétisme, les savants ne voient dans tous les phénomènes calorifiques, lumineux, électriques, etc., qu'un mode divers de mouvement.

Les physiciens sont généralement d'accord pour admettre que l'électricité est le résultat d'un mouvement particulier d'un fluide subtil impondérable, *l'éther*, agissant dans la matière pondérable. Une autre opinion, soutenue depuis une vingtaine d'années par M. Seguin en France, par M. Grove en Angleterre, et tout dernièrement par quelques autres savants, voudrait réduire tous les phénomènes à un mouvement exclusif de la matièr epondérable. Ces savants supposent deux sortes d'éléments matériels, les uns enchaînés et en repos relatif, les autres libres, animés de grandes vitesses et doués de propriétés qui ne conviennent pas à la matière pondérable. Ces derniers éléments, comme on le voit, ne diffèrent de l'éther que par le nom et parce qu'on veut les supposer pondérables. Les faits ne nous paraissent pas cependant autoriser cette supposition. Nous la croyons d'ailleurs inutile pour le but que ces savants se sont proposés. Elle, en outre, ne fait que compliquer davantage l'explication des phénomènes *(Voir la note* A*, à la fin du volume.)*

Quoi qu'il en soit de ces deux opinions, on ne pourrait aujourd'hui mettre en doute l'existence d'une matière ou fluide subtile que les physiciens pour s'entendre ont appelé *éther*. L'étude des phénomènes naturels nous conduit invinciblement à admettre, comme nous le disions, deux espèces de matière, l'une grossière et réunie en groupes, l'autre insaisissable et disséminée partout.

En effet, il existe dans l'intérieur des corps un nombre excessivement considérable d'interstices. On pourrait facilement démontrer, pour le plus grand nombre de substances, que dans un volume déterminé, l'espace laissé par ces interstices dépasse sans comparaison l'espace occupé par la matière pondérable. Le platine lui-même, qui est

le corps le plus dense qu'on connaisse, peut devenir perméable à certains gaz, comme par exemple l'hydrogène. Pourrait-on supposer ces espaces entièrement vides?

L'élasticité, la dilatation et la condensation des corps sont une preuve palpable que leurs particules ne sont pas en contact. D'un autre côté, la propagation de la chaleur, de la lumière et de l'électricité à travers les corps montre tout à la fois l'existence des interstices indiqués et la présence d'une matière subtile qui les remplit, qui reçoit et transmet les mouvements qui constituent ces divers phénomènes.

La réflexion, la réfraction, la polarisation de la lumière et de la chaleur viennent confirmer la même vérité. John Herschell a démontré que ces phénomènes ne pourraient avoir lieu si l'onde lumineuse arrivait au contact immédiat des molécules pondérables. Il est par conséquent nécessaire d'admettre à la surface des corps une superficie éthérée, et ce même éther dans leur intérieur, différemment disséminé selon la différente constitution des corps eux-mêmes.

Nous sommes donc, bon gré, mal gré, forcés d'admettre, comme nous disions tout à l'heure, une autre substance, sinon diverse, distincte du moins de la substance pondérable. L'*éther* ou matière subtile doit être supposé toujours en mouvement, mouvement qui *se transmet à la matière pondérable*, mouvement de l'une et de l'autre qui peut affecter nos sens sous forme de chaleur, de lumière, d'électricité, etc.

Mais quelle est la nature de ce mouvement? Est-ce un simple mouvement de vibration, ou bien un mouvement tout à la fois de vibration et de transport? Ce mouvement est-il identique avec celui qui existe continuellement dans toutes les molécules des corps, ou n'est-il qu'une exagération ou augmentation des mouvements moléculaires de leur surface? Doit-on le regarder comme analogue avec celui qui constitue la chaleur et la lumière, ou en est-il spécifiquement distinct? L'éther, qui, par ses propres vibrations, est la cause des vibrations des atomes de la matière et des phénomènes qui en résultent, entre-t-il comme élément constituant des atomes eux-mêmes? Nous parlerons de toutes ces questions, non pas dans l'ordre dans lequel nous venons de les énoncer, mais selon que l'occasion s'en

présentera; nous le ferons soit dans le texte de l'ouvrage, soit en note à la fin du volume.

Etudions tout d'abord la nature du mouvement. L'opinion qui sourit le plus aux savants est celle qui voudrait le réduire à un simple mouvement de vibration tant que l'électricité de nature statique reste accumulée sur la surface des corps; mais il n'est pas possible d'embrasser cette opinion lorsqu'il s'agit d'électricité qui s'écoule ou qui circule dans des conducteurs. Nous reviendrons plus loin sur l'électricité statique; bornons-nous à parler ici de l'électricité en mouvement.

Un grand nombre de faits prouvent que dans le mouvement de l'électricité, et surtout dans les phénomènes électro-dynamiques, il existe un véritable transport de matière. Arago, dès 1837, frappé des mouvements translatoires produits ou occasionnés par l'électricité, n'a pas osé formuler son opinion. Dans son célèbre travail sur *le tonnerre*, il semble porté à admettre plutôt l'existence réelle d'un fluide électrique qu'à regarder les phénomènes comme le résultat de simples vibrations d'une matière quelconque. *(Annuaire du Bureau des longitudes, 1838.)*

Aujourd'hui les faits se sont grandement multipliés, et il ne paraît plus permis de considérer l'électricité dynamique autrement que comme un véritable écoulement de matière subtile dans les conducteurs métalliques, à la façon des liquides dans les tubes de conduite.

Nous citerons quelques-uns seulement de ces faits. On connaît le mouvement dont un circuit métallique vertical et mobile est animé par l'action d'un courant circulaire ou spiral fixé horizontalement. On connaît aussi un pareil mouvement que Faraday, le premier, a obtenu dans des aimants verticaux plongés dans un bain de mercure et faisant partie d'un circuit métallique animé par un courant. Ces mouvements démontrent que les conducteurs ne sont pas dans un état d'équilibre statique, mais dans une vraie condition dynamique, c'est-à-dire qu'il existe dans le conducteur une force réelle produisant un véritable travail, force qui persiste tant que dure le courant.

Tout le travail du courant n'est pas là. Outre le mouvement mécanique, il existe aussi une action calorifique et une action chimi-

que, et nous sommes encore bien loin de connaître tout le travail qu'un courant peut faire. L'eau, les sels, les acides et les oxydes métalliques sont décomposés par l'action chimique. Tantôt leurs éléments sont simplement séparés, tantôt fixés en nouvelles combinaisons. Par l'action calorifique, les métaux s'échauffent, deviennent incandescents, ils fondent et se volatilisent, y compris même les plus réfractaires, comme l'iridium et le platine, qui résistent au feu des fournaises le plus puissant.

Or, le mouvement mécanique des conducteurs et du liquide dans lequel ils sont plongés, la décomposition de celui-ci, la dissociation, la fusion et la volatilisation des molécules des métaux ne sont pas le résultat de simples vibrations, mais de vrais mouvements de transport ; et quoique ce soit un transport de matière pondérable, le courant qui l'occasionne ne peut pas être de la matière pondérable dans le sens qu'on donne à cette expression.

De plus, dans toutes ces espèces de travail, le courant doit vaincre la résistance plus ou moins forte que lui oppose la cohésion moléculaire des liquides ou des solides sur lesquels tout ce travail s'effectue. Il y a donc toujours une perte de mouvement considérable ; il doit par conséquent y avoir un développement continu de force vive, autrement ces effets mécaniques, physiques ou chimiques seraient des effets sans cause. Afin qu'une machine quelconque puisse effectuer un travail, il est nécessaire que le mouvement soit constamment transmis de la source de la force dans toutes les pièces de la machine elle-même. La même chose doit avoir lieu dans un circuit métallique animé par un courant. Les diverses parties du circuit doivent être considérées comme les pièces d'une machine recevant le mouvement de la pile, qui est la source de la force. La pile, dit sagement le P. Secchi, agit, en *brûlant du zinc*, comme les machines ordinaires agissent en *brûlant du charbon*. Donc, on le voit, dans toutes les parties d'un conducteur, ainsi que dans toutes les pièces d'une machine, il existe une vraie circulation de mouvement.

Les mouvements thermiques et lumineux viennent admirablement à l'appui de tout ce que nous venons d'affirmer. Dans un fil conducteur homogène et d'un diamètre uniforme, lorsque le courant est

bien établi, la température qu'il développe est égale dans toutes les parties du circuit. On le reconnait en mettant en contact avec le fil la soudure d'un élément de la pile thermo-électrique de Nobili et Melloni; l'aiguille du galvanomètre dévie, pour chaque point du fil, d'un égal nombre de degrés. Si l'échauffement du fil était dû à une simple vibration, la température qu'il indiquerait devrait être, selon la loi de Lambert, comme lorsqu'on le chauffe par un bout avec une source quelconque de chaleur; c'est-à-dire que, pour les différents points qui s'éloignent de la source en progression arithmétique, la température devrait diminuer en raison géométrique.

Si le fil est de différents diamètres et communique par l'un des bouts avec une source ordinaire, vous verrez la température augmenter en raison inverse des diamètres, tandis que les expériences de M. Marié-Davy ont démontré que dans un fil semblable parcouru par un courant d'induction, la température augmente en raison inverse du carré des diamètres.

Ces deux lois font voir, à n'en pouvoir douter, que dans un fil conducteur animé par un courant existe un mouvement analogue à celui d'un liquide en mouvement. En effet, un liquide en mouvement conserve une vitesse égale dans tout son trajet si la section du tuyau de conduite est la même ; ce qui s'accorde parfaitement avec la première loi indiquée par rapport au calorique que le courant développe. Mais si les sections du tuyau sont différentes, la vitesse du liquide est en raison inverse des sections; et comme les forces vives que les molécules du liquide acquièrent sont en raison du carré de leur vitesse, il s'ensuit que les forces vives sont en raison inverse du carré des sections. Et comme la température accusée par le conducteur du courant n'est que l'effet de l'ébranlement des molécules, ou, en d'autres termes, la force vive communiquée à celles-ci, il s'ensuit aussi que la force vive dans un fil métallique est toujours égale à la force vive des molécules d'un liquide en mouvement; c'est-à-dire, comme nous disions, en raison inverse des carrés des sections ou des diamètres.

Ces mêmes lois se vérifient pour la lumière. Si l'on fait passer dans une tube de Gaisslher un courant d'induction, l'intensité de la lumière ne change pas lorsque le tube a partout le même diamètre,

mais s'il a un diamètre différent, l'intensité de la lumière est plus grande aux endroits où celui-ci se rétrécit.

On n'a pas constaté, il est vrai, de quelle manière cette intensité augmente, mais elle paraît se comporter comme la chaleur, et croître en raison inverse des carrés des sections. Si le diamètre du tube est en partie seulement capillaire, cette partie brille d'une lumière très-belle, tandis que l'autre donne à peine une lumière phosphorescente.

Ces preuves suffisent, croyons-nous, pour faire comprendre la nature de l'électricité dynamique. Elle consiste donc dans un écoulement réel de matière dans l'intérieur des fils conducteurs. Et, comme nous l'avons fait voir plus haut, si l'électricité ne peut être un effet simple du mouvement de la matière pondérable, il est évident qu'elle consiste dans un écoulement de la matière subtile ou de l'éther entraînant parfois, ou, disons mieux, toujours, des molécules de matière pondérable.

En envisageant ainsi l'électricité dynamique, nous ne disons rien de nouveau, nous n'avons fait que souscrire à l'opinion actuellement reçue par la généralité des savants. Le lecteur qui voudrait posséder une plus ample connaissance des faits qui ont conduit à cette manière de voir, peut consulter l'ouvrage du P. Secchi sur l'*Unité des forces physiques* (1); il y trouvera cette question longuement développée et traitée d'une manière magistrale. Nous ne pourrions nous étendre davantage sans trop nous éloigner de notre but.

Ce serait ici le lieu de parler de la question suivante, posée plus haut. L'éther, qui par ses propres vibrations est la cause des vibrations des atomes de la matière et des phénomènes qui en résultent, entre-t-il comme élément constituant des atomes eux-mêmes? Cette question, en effet, se présente ici d'elle-même. Mais, pour ne pas trop nous écarter de notre sujet, nous préférons la renvoyer à la fin du volume. (*Voir note* B.)

(1) *Unità delle forze fisiche.* Roma, tipografia Forense, 1864. Cet ouvrage a été tout récemment traduit en français par le docteur Delechamps. Paris, Savy.

## CHAPITRE II.

### EXPLICATION DES PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES D'ÉLECTRICITÉ STATIQUE.

Si nous nous abstenons de soumettre à un examen détaillé tous les phénomènes électriques, il ne nous est pas cependant permis de passer sous silence les principaux phénomènes de tension; car c'est principalement aux tensions électriques que sont dues, d'après nous, les agitations de l'atmosphère.

Tous les phénomènes électriques se réduisent à deux séries distinctes : phénomènes *électro-statiques*, phénomènes *électro-dynamiques*. Les premiers cessent aussitôt que les seconds apparaissent, et réciproquement; en sorte que les uns ne se manifestent jamais en même temps que les autres. Les phénomènes électro-statiques ou de tension se connaissent par les attractions et les répulsions des corps légers. Les phénomènes électro-dynamiques ou les courants se manifestent par une déviation qu'ils impriment aux aiguilles aimantées, suivant des lois qu'il serait inutile de rapporter ici. On peut reconnaître à d'autres indices ces deux sortes de phénomènes, mais ceux que nous venons d'indiquer en sont comme les signes caractéristiques.

Ouvrez le circuit d'une pile ou d'un courant d'induction, les deux pôles ou extrémités du fil conducteur vous présenteront de suite les phénomènes propres de l'électricité statique. Fermez le circuit, tout signe d'attraction et de répulsion cessera à l'instant; mais vous verrez à leur place les indices de l'électricité dynamique. De même, donnez un tour ou deux au plateau de la machine électrique, vous obtiendrez de suite sur les conducteurs de l'électricité statique que vous reconnaîtrez aux agitations des corps légers. Touchez les conducteurs avec la main ou avec un métal, toute agitation disparaît comme par enchantement; mettez-les en communication avec

les coussins, tournez de nouveau le plateau pendant un temps aussi long qu'il vous plaira, la machine restera paralysée. Cependant, l'électricité est maintenant, comme tout à l'heure, réellement excitée par le plateau. Tant que le conducteur est isolé, l'électricité reste accumulée sur lui ; mais lorsque celui-ci est mis en communication avec le sol ou avec les coussins de la machine, l'électricité ou le fluide qui la produit circule ou s'écoule librement, et constitue ainsi le courant, comme lorsque vous rétablissez la communication entre les rhéophores de la pile. Il n'est donc pas étonnant que tous les signes électro-statiques disparaissent, car il n'y a plus sur le conducteur, comme à la surface du circuit d'un courant, aucune tension (1).

Si, au lieu de fermer le circuit d'un courant avec un fil métallique, on fait usage d'un cordon de soie, d'un ruban d'ivoire, d'un bâton de verre ou de matières résineuses, on sait qu'à l'extrémité du conducteur métallique les phénomènes de tension ne cessent pas. La même chose a lieu pour la machine électrique. Il y a donc, par rapport à l'électricité, deux espèces de corps ; les uns qui permettent au fluide (2) de s'écouler et de se constituer à l'état de courant, les autres qui l'arrêtent et l'obligent à rester accumulé à l'état de tension. On a appelé les premiers *bons*, les autres *mauvais* conducteurs.

(1) Il est vrai que cet écoulement de l'électricité au sol ou aux coussins ne produit (dans les machines ordinaires) aucun effet sur les aiguilles du rhéomètre, mais cela tient à ce que la machine n'est pas une source continue d'électricité. La quantité que le conducteur peut laisser passer l'emporte sur celle que la machine peut développer dans un même temps ; par conséquent, à dire vrai, il n'y a pas dans le conducteur un écoulement continu et suffisant pour vaincre la force qui tient l'aiguille dans sa direction normale. Si l'écoulement se faisait sans interruption, c'est-à-dire s'il venait au conducteur plus d'électricité qu'il ne peut en laisser passer en temps égal, il produirait sur l'aiguille une action plus ou moins marquée ; c'est ce qui a lieu dans les admirables machines de Holtz et de Bertsch. L'électricité qu'elles développent, bien que de nature statique, peut non seulement mettre en mouvement l'aiguille d'un galvanomètre, mais décomposer l'eau et faire marcher les tubes de Gaissler, comme le ferait un courant direct ou un courant d'induction.

Peltier ayant mis en communication avec un rhéomètre le fil conducteur d'un cerf-volant qu'il lançait dans les nues, obtint le premier avec l'électricité statique la déviation de l'aiguille. Par cette expérience, ce savant a enlevé la dernière barrière qui séparait les phénomènes électro-statiques des phénomènes électro-dynamiques.

(2) Par *fluide*, nous entendons l'éther ; éther et fluide seront pour nous désormais synonymes d'électricité.

D'après les connaissances actuelles de la science, qui réduit les phénomènes électriques à un mouvement de l'éther dans la matière pondérable, tous les corps conducteurs, par rapport à l'électricité, doivent être assimilés aux corps diaphanes, et les mauvais conducteurs assimilés aux corps opaques, avec cette notable différence cependant que les corps diaphanes pour la lumière sont ceux que nous pouvons appeler opaques pour l'électricité, quoiqu'il y ait d'ailleurs beaucoup d'anomalies.

Les gaz qui laissent passer plus ou moins facilement les ondes lumineuses ou qui transmettent les vibrations de l'éther, empêchent ou arrêtent plus ou moins le mouvement longitudinal ou l'écoulement de ce fluide.

Les métaux qui arrêtent l'onde lumineuse ou empêchent les vibrations de l'éther, lui permettent de s'écouler dans leur intérieur avec plus ou moins de facilité. Nous pouvons donc considérer les métaux par rapport à l'éther comme des canaux ou des tuyaux de conduite par rapport aux liquides.

Les physiciens, en effet, quoiqu'ils supposent l'éther doué d'une force répulsive ou d'expansion comme les gaz, sont contraints par les faits d'admettre aussi que ce fluide se comporte dans son écoulement comme les liquides, et qu'il est très-peu compressible comme eux. Nous avons déjà fait voir que les phénomènes électro-dynamiques sont, par leurs effets, entièrement analogues aux mouvements des liquides.

Les gaz, au contraire, et tous les corps qui ne conduisent pas l'électricité, se comportent comme les obstacles qui, dans un tuyau ou dans un vase, ferment les orifices de sortie. Comme un liquide est retenu dans un vase par les parois de celui-ci, de même l'éther condensé sur un conducteur est retenu par les corps *anélectriques* ou mauvais conducteurs; et comme un liquide exerce une pression sur les parois du vase, de même l'éther l'exerce sur les corps anélectiques tant que l'écoulement n'a pas commencé. C'est précisément cette pression de l'éther condensé sur un corps, transmise à l'éther condensé ou raréfié sur les corps environnants, qui, comme nous le verrons tout à l'heure, produit les attractions et les répulsions.

Hâtons-nous d'ajouter que la comparaison ne serait pas exacte

si nous regardions les mauvais conducteurs comme des vases imperméables ; il faut nécessairement les comparer à des vases plus ou moins poreux, puisque l'électricité finit par disparaître d'un corps, quelque mauvais conducteur que soit le milieu qui l'environne, et quelle que soit l'épaisseur de la couche. Les plus mauvais conducteurs doivent être assimilés aux corps ou aux vases les moins poreux.

Les phénomènes électriques sont, pour nous, entièrement analogues aux phénomènes calorifiques et lumineux ; les uns comme les autres doivent être envisagés de la même manière. Comme dans toute l'étendue de l'échelle des actions calorifiques et lumineuses on ne voit qu'une seule et même force agissant avec des intensités différentes, de même l'ensemble des phénomènes électriques doit être regardé comme le résultat d'une cause unique agissant toujours de la même manière, bien qu'avec des intensités diverses.

Quoique les effets de la lumière vers la limite inférieure et la limite supérieure de l'échelle de son action et l'impression qu'elle produit sur les organes de la vision soient dans les deux cas entièrement différents, nous ne sommes pas cependant tentés de croire ces divers phénomènes produits par des actions spécifiquement diverses. Lorsque la température d'un corps s'abaisse de plusieurs degrés au-dessous du zéro, quoique les sensations que nous éprouvons et les autres effets auxquels cet abaissement donne lieu soient différents des sensations et des effets occasionnés par des températures élevées, il ne viendra à l'esprit de personne de les attribuer à des actions essentiellement différentes. Comme l'obscurité et les impressions lumineuses, comme le froid et le chaud ne sont pas des effets de deux divers modes d'action de la lumière et de la chaleur, de même les attractions et les répulsions, ainsi que la disparition de ces signes, ne sont pas le résultat de modalités électriques différentes.

Nous laisserons de côté, comme nous l'avons dit, les phénomènes d'électricité dynamique : nous ne nous proposons pas non plus de donner une théorie électrique complète ; nous serions entraîné trop loin de notre but. Nous voulons seulement nous ouvrir le chemin à l'étude des agitations de l'atmosphère, car, répétons-le, nous les croyons l'effet immédiat de tensions électriques.

Nous essaierons ici de faire voir que les principaux phénomènes d'électricité statique peuvent être aisément réduits aux lois connues du mouvement des corps soumis à l'action de plusieurs forces égales ou d'intensité différente, et agissant dans le même sens ou en sens contraire.

Nous disons que la différente intensité du mouvement provient des différents degrés de condensation de l'éther sur les corps, condensation qui peut avoir lieu seulement lorsque le corps est placé dans un milieu qui s'oppose au mouvement longitudinal du fluide ; car lorsque l'éther peut glisser et s'écouler librement, toute tension cesse. L'air et les gaz secs s'opposent à ce mouvement, mais ils doivent nécessairement ressentir le mouvement vibratoire du même éther. Nous reviendrons ailleurs sur ce mouvement de vibration et sur les effets qu'il produit dans l'air environnant, ainsi que sur la tension du fluide lui-même ; nous dirons seulement ici que la pression que le fluide condensé sur un corps transmet au fluide condensé ou raréfié sur les corps environnants et sur les molécules de la matière pondérable, suffit à expliquer les phénomènes électriques, sans qu'il soit nécessaire de supposer entre les corps l'existence d'attractions ou de répulsions électriques *réelles*, dans le sens qu'on a donné jusqu'ici à ces deux expressions. En d'autres termes, nous regardons tous les phénomènes électriques comme le résultat de pressions différentes.

Mais avant d'aborder cette explication, nous devons éclaircir une question importante.

On a affirmé que l'épaisseur de la couche de l'éther condensé est nulle à la surface des corps. Nous ne pourrions pas admettre une couche de ce fluide condensé sur un corps sans que cette couche s'étendît au dehors. S'il est vrai, comme le prouvent les expériences de Coulomb, les déductions analytiques de Laplace et de Poisson et les travaux de Plana et de Belli, qu'une couche, quoique très-mince, d'éther condensé pénètre l'intérieur des corps, il nous semble que cette couche doit aussi s'étendre au dehors. Il serait bien difficile de concevoir comment les vibrations de l'éther qui excitent ou qui produisent les phénomènes électriques aient pour limite extérieure la surface mathématique des corps. Si l'éther condensé peut les pénétrer, ce n'est pas parce que ceux-ci lui facilitent le mouvement

longitudinal ; car ce sont précisément les corps mauvais conducteurs qui, à toute autre condition égale, présentent le mieux la couche intérieure, mais il faut attribuer l'existence de cette couche interne à la tension de la source et surtout à la réaction ou à la résistance du milieu. Or, il nous semble que la résistance variant avec la nature du milieu et la nature des corps électrisés, l'épaisseur de la couche ne pourra être sur eux toujours égale ni disposée de la même manière.

Je sais qu'on a pu conserver des tensions dans le vide ordinaire des machines pneumatiques ; mais je sais aussi que ces tensions sont presqu'imperceptibles, et on a bien sujet de croire qu'elles proviennent de la résistance qu'opposent les molécules de l'air qu'il a été impossible de faire disparaître du réservoir.

Quoi qu'il en soit, comme les vibrations de l'éther condensé sur un corps ne pourraient produire les phénomènes de tension si ces vibrations ne se transmettaient pas à l'éther du milieu, et par lui aux molécules pondérables du même milieu, il s'ensuit que l'effet de ces vibrations ne pourrait être borné à la superficie mathématique du corps. Il serait impossible autrement de se rendre compte des actions électriques à distance. D'ailleurs, nous avons dit plus haut que John Herchell a démontré la nécessité d'admettre à la surface des corps une superficie éthérée, même pour l'explication d'autres phénomènes moins compliqués que les phénomènes électriques. Or, ces phénomènes étant différents, il nous paraît que cette superficie éthérée ne doit pas avoir toujours la même densité.

Au reste, puisqu'on convient que l'électricité n'est autre chose qu'un effet des vibrations de l'éther dans la matière pondérable, il faut nécessairement admettre l'existence de ces vibrations partout où les phénomènes électriques se manifestent. Or, comme le plus ou moins d'intensité des phénomènes ne résulte que du plus ou moins d'intensité *relative* de ces vibrations, il s'ensuit que l'éther doit être toujours relativement plus condensé sur un corps positivement électrisé que sur un autre à l'état naturel, et cela dans toute la sphère ou l'étendue de l'action électrique. On doit en dire autant d'un corps à l'état naturel, par rapport à un autre à l'état négatif, et à plus forte raison d'un corps positivement électrisé, par rapport à celui qui serait électrisé négativement.

Supposez maintenant une sphère légère suspendue par un fil de soie sur laquelle l'éther soit plus condensé ou plus raréfié que celui de l'air ; ou, en d'autres termes, supposez-la électrisée positivement ou négativement : tant que près d'elle il n'y aura d'autres corps que le milieu environnant, la sphère restera en équilibre comme si elle était à l'état naturel, parce que dans les deux cas elle est également comprimée. Lorsque l'électricité est en excès, l'égalité de pression sur la sphère vient de l'éther accumulé sur elle. Cet éther tend à se jeter au dehors, mais il rencontre un obstacle dans l'éther extérieur qui ne cède pas à cette pression, parce que l'air ne se prête pas à son mouvement longitudinal. Dans le cas contraire, la pression provient de l'éther extérieur qui, par la même raison, ne peut se jeter sur la sphère (1).

Si la pression vient à augmenter ou à diminuer d'un côté de la sphère, l'équilibre sera rompu ; c'est ce qui doit arriver réellement lorsqu'on approche de la sphère un autre corps de différente nature que l'air, quel que soit d'ailleurs son état électrique.

Les cas de rupture momentanée d'équilibre sont au nombre de cinq. Les trois premiers ont lieu quand la sphère est électrisée *positivement*, et le corps qu'on approche d'elle se trouve successivement à l'état *positif*, à l'état *négatif* ou à l'état *naturel*. Les deux autres cas ont lieu lorsque la sphère est électrisée *négativement*, et l'autre corps se trouve aussi dans le *même état* ou à *l'état naturel*.

(1) On sait que les corps ne sont pas tous bons ou mauvais conducteurs au même degré. La mobilité de l'éther entre les molécules des corps conducteurs n'est pas la même, elle varie selon le degré de conductibilité du corps; il doit en être de même de la résistance que le fluide éprouve entre les molécules des mauvais conducteurs. Lorsque nous disons donc que l'air ou un corps quelconque ne se prête pas au mouvement longitudinal de l'éther, nous entendons seulement par là que l'écoulement du fluide n'a pas lieu, mais nous n'excluons pas une certaine mobilité, même dans les corps les plus mauvais conducteurs. Cela se déduit d'ailleurs de ce qu'un certain nombre de corps qui sont mauvais conducteurs de l'électricité laissent passer la lumière, qui est aussi un mouvement de l'éther, quoique sous forme différente. Cela se déduit surtout de ce que nous avons dit plus haut sur la dispersion de l'électricité, quelque mauvais conducteur que soit le milieu qui environne ou qui protége un corps électrisé.

Commençons par analyser le premier cas. Supposez donc deux sphères égales (fig. 1) semblables à celle dont nous venons de parler, et électrisées positivement, c'est-à-dire ayant sur elles une couche d'éther plus condensé que l'éther du milieu, et vibrant par conséquent avec plus d'intensité que lui.

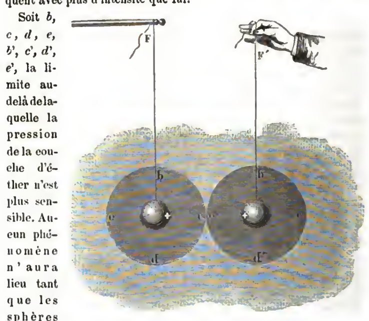


Fig. 1.

Soit *b*, *c*, *d*, *e*, *b'*, *c'*, *d'*, *e'*, la limite au-delà de laquelle la pression de la couche d'éther n'est plus sensible. Aucun phénomène n'aura lieu tant que les sphères resteront dans la position indiquée par la figure ; mais si vous venez à déplacer un des fils *F'*, par exemple, le portant vers *F* comme pour obliger les sphères à s'approcher, vous produirez une légère compression sur les deux couches d'éther au point de contact. Qu'arrive-t-il? Vous ne réussirez pas à rapprocher les sphères, parce que l'éther réagit à son tour sur elles; et comme les sphères sont mobiles, elles obéissent à la réaction et paraissent reculer comme dans la figure 2 ; mais en réalité elles ne s'éloignent pas; leur distance reste la même.

Supposez maintenant qu'une des sphères soit à l'état négatif (fig. 3) *b*, *c*, *d*, *e*, *b'*, *c'*, *d'*, *e'*, soient les deux couches

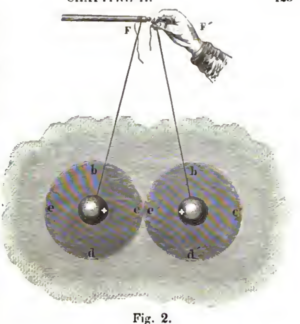


Fig. 2.

d'éther, l'une plus, l'autre moins condensée que l'éther du milieu. Évidemment, à l'instant où les deux sphères sont arrivées à la position indiquée par la figure, la sphère + se trouvera plus comprimée du côté d'*e* que du côté de *c*. La couche d'éther condensé, éprouvant vers *c* une réaction moindre que de l'autre côté en *e*, le fluide du côté de *c* se dilatera; par conséquent, la sphère + supportant, du côté opposé *e*, une pression plus grande, sera

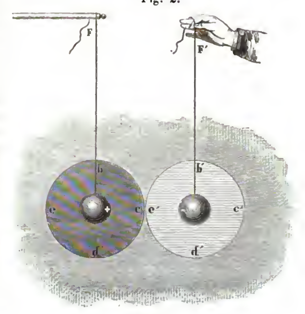


Fig. 3.

poussée vers l'autre sphère. Le fluide qui enveloppe la première se trouvera à l'instant en contact avec la seconde; il se jettera sur elle et l'enveloppera de la même manière. La réaction de ce fluide sur le fluide du milieu détermine le contact comme dans la figure 4. Vous croyez voir ici une attraction comme dans le cas précédent il vous semblait voir une répulsion, mais en réalité il n'y a ni attraction ni répulsion. Dans les deux cas, les sphères se meuvent de la même manière et par la même raison, c'est-à-dire en obéissant toujours à la pression plus forte.

A peine arrivées au contact, les sphères se séparent de nouveau comme si elles se repoussaient. Cela provient de ce que le fluide, tendant à se mettre en équilibre, presse également tous les points du système; et comme il ne trouve en r (fig. 4) aucune résistance, il s'y précipite dans la direction des flèches; les sphères étant mobiles, doivent nécessairement céder à la pression de l'éther et s'éloigner l'une de l'autre (fig. 5). Cette répulsion est donc aussi l'effet d'une différence de pression.

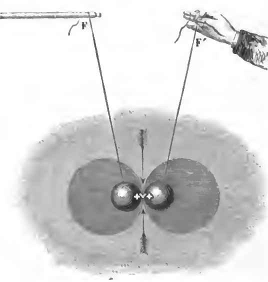



Fig. 4.

Lorsque les deux sphères sont négativement électrisées, elles prennent encore la direction de la résultante de toutes les forces qui agissent sur elles. Rapprochez l'un de l'autre les fils $F'$ et $F''$ (fig. 6), les sphères ne les suivront pas jusqu'au contact, parce que l'éther du milieu tend de tout côté à se

jeter sur elles en $m$ et $m'$ pour les écarter, en $n$ et $n'$ pour les rapprocher. Mais comme le milieu ne permet pas à l'éther le mouvement longitudinal, il continuera à exercer sur les sphères la même pression. Celles-

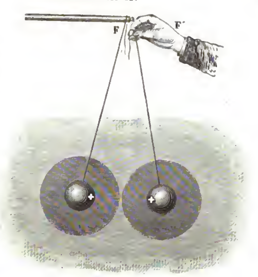



Fig. 5.

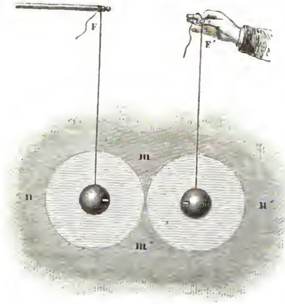



Fig. 6.

ci continueront donc à se tenir à la même distance ; leur position sera seulement changée, parce que dans la tentative faite pour les rapprocher, vous avez légère-

ment comprimé l'éther du milieu, qui a réagi à son tour et a fait sortir les sphères de leur verticale (fig. 7), leur donnant l'apparence d'une répulsion, comme dans le premier cas.

Les deux autres cas ont des explications analogues, nous en parlerons tout à l'heure; pour le moment, revenons un instant en arrière et étudions les phénomènes occasionnés sur les corps par le frottement.

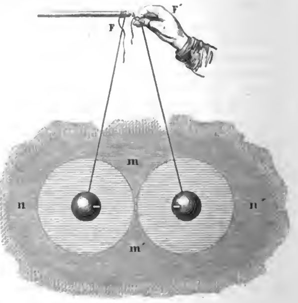



Fig. 7.

Quand on frotte deux corps l'un contre l'autre avec les précautions nécessaires, on sait que l'un se trouve électrisé positivement, l'autre négativement. Dans la théorie de Franklin, on disait que le corps positivement électrisé avait enlevé une partie du fluide naturel à l'autre corps; le *plus* et le *moins* exprimaient donc un *excès* réel de fluide dans le premier, une *diminution* ou une *perte* dans l'autre. Le mot *excès* n'a pas la même signification que le mot *condensation*, mais nous pensons qu'on peut continuer à faire usage de la première expression pour conserver, autant que possible, les anciennes formules, et parce qu'en réalité, si l'éther se trouve condensé sur un corps, celui-ci, par rapport aux autres qui l'environnent, en possèdera un excès relatif sur la quantité qu'il possède dans le cas d'équilibre.

Cela posé, soit $P$ le corps positivement électrisé, $N$ le corps élec-

trisé négativement. Nous disons que l'éther sur $P$ se trouve condensé, raréfié sur $N$; en mettant ce dernier en communication avec le sol, le fluide de celui-ci se jettera sur lui, c'est-à-dire sur $N$, et rétablira l'équilibre en rendant à l'éther qui l'enveloppe la même densité de l'éther du milieu, $N$ reviendra ainsi à l'état naturel. En mettant $P$ en communication avec le sol, c'est l'éther condensé sur $P$ qui s'écoule. La quantité de *fluide* qui peut être condensée sur un corps dépend de l'amplitude, de la forme et de la disposition de la surface de ce corps, de la diverse conductibilité du milieu et de son état électrique préalable. On peut en dire autant pour la raréfaction.

La condensation et la raréfaction ont une limite que vous ne pourrez dépasser; car s'il s'agit du corps $P$, lorsque l'éther aura acquis une tension capable de vaincre la résistance que les molécules de l'air opposent à son mouvement longitudinal, il s'échappera en partie de la même façon qu'un liquide contenu dans un vase poreux jaillit et s'écoule par les pores lorsqu'on les soumet à une certaine pression. De même, et par une raison analogue, l'éther du milieu finira par se jeter sur N.

Examinons maintenant ce qui se passe dans la machine électrique. Un ou deux tours de la manivelle suffisent pour développer snr le plateau et sur les conducteurs une action électrique, comme aussi sur ma main ou sur un corps conducteur quelconqne lorsque je les approche de la machine. Dans la nouvelle théorie, il suffira de dire que le frottement détermine sur le disque un mouvement de vibration qui donne lieu à une condensation de l'éther sur lui, et d'où il s'élance par les pointes sur les conducteurs. Le même frottement produit sur les coussins un effet contraire; le fluide y est raréfié. Si l'on continue à tourner le plateau, on continue à condenser le fluide sur les conducteurs et à le raréfier sur les coussins; mais, par la raison indiquée plus haut, il y a un maximum de condensation et de raréfaction qu'il sera impossible de dépasser.

La machine étant donc en activité, si j'approche ma main des conducteurs, le fluide s'écoulera réellement par moi dans le sol. Si je touche les coussins, l'éther du milieu s'écoulera de même par ma main jusqu'à eux; si, lorsque je touche les conducteurs, je me trouve en communication avec le sol, l'équilibre sera rétabli entre toutes les parties de la machine; si je suis isolé, le fluide s'écoulera

en partie sur moi pour y rester condensé et présentant les phénomènes de tension ; si lorsque je touche les coussins je suis isolé, une partie de mon éther se portera sur eux ; le fluide restera sur moi plus raréfié que ne l'est l'éther de l'air ambiant ; je serai négativement électrisé.

Les phénomènes d'influence ont une explication également facile. Mettons en présence d'une source d'électricité positive un conducteur $C$ isolé, appelons $N$ le côté en regard de la source, $P$ le côté opposé. On sait que sur $P$ apparaît à l'instant le signe électrique semblable à celui de la source, en $N$ le signe contraire ; cependant $C$ possède actuellement une quantité absolue de fluide, identiquement égale à celle qu'il possédait tout à l'heure lorsqu'il n'était pas en présence de la machine. Ce double signe est, comme tous les autres phénomènes analysés jusqu'ici, un simple effet de pression. Le fluide de la source comprime le fluide du milieu, celui-ci le fluide du conducteur $C$, lequel fluide pouvant se mouvoir librement dans le conducteur cède à cette pression et va s'accumuler et se condenser sur $P$, d'où il résulte une raréfaction sur $N$ et par conséquent le signe négatif.

Si, tout en restant en communication avec le sol, j'approche ma main de l'une ou de l'autre extrémité du conducteur $C$, le fluide de la machine exercera sur mon fluide une pression semblable à celle qu'il produit sur le conducteur. Celui-ci se trouvant en communication avec moi, le fluide tendra à se mettre en équilibre sur tous les deux ; mais comme je suis aussi en communication avec le sol, le fluide condensé du conducteur, cédant à la pression de la machine, s'écoulera effectivement. Si maintenant j'éloigne ma main et fais aussi cesser l'influence, le conducteur $C$ doit toujours se trouver électrisé négativement, quel que soit le point sur lequel il ait été touché.

Supposez maintenant que le fluide de la source soit raréfié, le conducteur $C$ du côté de celle-ci donnera le signe positif, le négatif de l'autre, quoique la quantité de fluide soit, comme dans l'autre cas, la même qu'auparavant. Lorsque j'approche de ce conducteur le revers de ma main, j'y vois aussi le signe positif. Ce signe est dû à l'excès de pression que mon fluide naturel, le fluide du milieu et le

fluide de C lui-même exercent sur le fluide raréfié de la machine. L'éther du sol viendra à la partie inférieure de mon corps en quantité égale à celle qui s'est portée sur ma main. Par conséquent l'éther se trouvera sur moi, non seulement plus condensé que sur la machine, mais aussi plus condensé que sur le conducteur *C*. Si donc je touche ce dernier, mon fluide n'éprouvant là aucune réaction s'écoulera sur lui. Une fois l'influence cessée, ce conducteur se trouvera positivement électrisé. Faites le même raisonnement pour l'électromètre, car le phénomène est le même.

Dans les deux cas, si le conducteur est mobile, comme les sphères dont nous avons parlé plus haut, il se mettra en mouvement vers la machine; mais quand celle-ci est positive, le mouvement provient de l'éther de la machine elle-même qui, réagissant contre le fluide du milieu, fait reculer le conducteur. Le fluide du milieu se comporte ici comme un obstacle insurmontable. Lorsque la machine est négative, le mouvement provient de ce que le conducteur est entraîné par le fluide du milieu, qui tend à se jeter sur la machine à la même manière qu'un liquide en mouvement entraîne et transporte les corps légers flottant à sa surface. Ce sont là les deux autres cas dont il nous restait à parler.

---

## CHAPITRE III.

### ORIGINE DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

Vall, physicien anglais et contemporain d'Othon de Guerricke sur la fin du XVII^e^ siècle, ayant par le frottement d'un gros morceau d'ambre obtenu des étincelles accompagnées d'un espèce de bruissement, vit dans ce phénomène l'image de la foudre. (Priestley. — *Histoire de l'électricité*, tome I, pages 18, 19). Jusqu'à lui on n'avait eu que des idées grossières sur la nature de la foudre; ce qui n'est pas étonnant, puisque nous-mêmes, malgré le nombre considérable des observateurs, malgré la multiplicité et la précision des moyens d'observation, malgré le progrès réel des sciences physiques, nous sommes encore bien éloignés d'avoir entre les mains le secret de la formation de ce terrible agent de la nature.

En 1735, Grey, physicien bien plus distingué que Vall, dans une lettre écrite à Cromwell Martiner, secrétaire de la société royale de Londres, affirmait, sur l'appui d'un grand nombre d'expériences, que le feu électrique lui paraissait de la même nature que la foudre et l'éclair. Cette opinion s'est répandue en Angleterre, et plus tard l'abbé Nollet publiait en France (1748) ses leçons, dans lesquelles il affirmait explicitement « que la foudre était entre les mains de la nature ce qu'est l'électricité dans nos machines. Les merveilles, ajoutait-il, que nous produisons à volonté dans nos cabinets ne sont que de petites imitations des terribles phénomènes qui nous effrayent tant. »

En 1750, l'Académie des sciences de Bordeaux couronnait un mémoire de Bergerat, médecin de Dijon. Ce mémoire roulait sur l'analogie qui existe entre l'électricité et la foudre; il ne présentait cependant que des considérations générales qui n'étaient appuyées d'aucun fait particulier.

Dans la même année, Benjamin Franklin, quelques mois avant Bergerat, dans une lettre ou plutôt dans deux, s'exprimait de la même manière, mais avec des faits à l'appui. (Franklin, *lettre 4e et moitié de la 5e.*) C'est dans cette même année qu'il proposa l'expérience du paratonnerre. Ne pouvant pas l'exécnter lui-même, parce qu'il n'avait pas à sa disposition nn lieu assez élevé, il se contenta de lancer en l'air un cerf-volant, et, par l'électricité qu'il en obtint, il confirma l'opinion de l'identité de la foudre et de l'électricité, alors généralement répandue parmi les savants.

Denx ans plus tard, c'est-à-dire en 1752, Cassini fut le premier à s'apercevoir de l'électricité atmosphérique à ciel serein, mais il attribua ce fait à la présence de quelques nuages sous l'horizon.

Lemonnier, dans cette même année, reconnut qne ce fait était constant, même lorsque le temps était définitivement au bean et le ciel pendant plusieurs jours complétement libre de nuages. C'est lui qui le premier commença à entrevoir la période journalière d'accroissement et de diminution.

Le P. Beccaria, non seulement confirma l'existence de cette période, mais il reconnut qne l'électricité de l'atmosphère était toujours positive. Pendant quinze ans d'expériences, il trouva six fois seulement l'électricité négative à ciel serein; mais toutes les fois ou le vent soufflait, ou il y avait des nuages dans quelque point du ciel.

Quelle est donc l'origine de l'électricité? Volta crnt nous l'avoir dévoilée. D'après lui, l'électricité serait due à la condensation on liquéfaction des vapeurs. Les travanx de Saussure, de Laplace, de Lavoisier, de Matteucci et de Pouillet établirent que l'évaporation produit de l'électricité, ponrvn qne l'eau contienne des matières étrangères. L'eau distillée n'en produit point.

On a indiqué aussi plusieurs autres causes. Volta s'étant aperçn que lorsque l'on allume des charbons dans un fourneau isolé, celui-ci reste électrisé négativement, tandis qne la flamme se trouve positivement électrisée, il concluait que la combustion pouvait être nne des causes de l'électricité de l'atmosphère. Après l'invention de la pile, il pensa que les différentes conches de terrain qui forment l'enveloppe solide du globe terrestre ponvaient, par leur simple superposition, développer de l'électricité à la façon d'une grande batterie.

On a eu aussi recours au frottement; on a dit que comme les solides frottés dans certaines conditions donnent toujours des signes d'électricité, de même deux masses d'air pourraient s'électriser réciproquement en se rencontrant et se mélangeant à différentes températures et à différents degrés d'humidité.

Les physiciens n'ont fait grand cas ni du frottement, ni de la combustion; quant à l'hypothèse qui considère la terre comme une source puissante d'électricité voltaïque, les expériences de M. Becquerel père parurent la confirmer. La manière de voir de ce physicien diffère cependant de l'opinion de Volta. Celui-ci attribue l'électricité à la simple superposition ou contact des couches terrestres, M. Becquerel aux actions chimiques. Selon lui, toutes les fois que de l'eau vient en contact avec la terre, celle-ci prend un excès notable d'électricité négative, et l'eau un excès correspondant d'électricité contraire. Les terres et les eaux sont tantôt positives, tantôt négatives, selon la nature des sels ou autres corps en dissolution dans les eaux.

Mais M. Palmieri, qui a répété un grand nombre d'expériences analogues à celles de M. Becquerel, attribue cette différence des signes à l'action de l'électricité atmosphérique. D'après M. Palmieri, les signes positifs ou négatifs dépendent de l'état du ciel et non de la différence de concentration des solutions salines.

Quant à l'évaporation et au changement d'état des vapeurs que différents physiciens regardent comme la cause première de l'électricité terrestre et atmosphérique, nous répétons d'abord ce que nous avons indiqué plus haut, savoir que l'eau distillée, d'après Pouillet lui-même, n'en donne pas le moindre signe; donc l'évaporation par elle-même n'en produit point. D'après cet auteur, l'électricité serait produite, non pas par l'évaporation, mais par l'action chimique qui a lieu au moment où les molécules de l'eau se séparent des substances en dissolution.

MM. Reich et Reiss, en Allemagne, d'après leurs expériences, attribuent le développement de l'électricité uniquement au frottement de la vapeur contre les parois du vase, comme dans la machine hydro-électrique d'Armstrong. En effet, si on enlève de cette machine les petits tubes en bois qui constituent les orifices de sortie,

tout phénomène électrique disparaît. Faraday avait observé ce même fait.

Ce qu'il fallait chercher, c'était non la cause de l'électricité dans l'ébullition, mais dans l'évaporation. Peltier, ayant répété les expériences de Ponillet, a constamment trouvé que l'ean salée, aussi bien que l'oau distillée, ne donne do l'électricité qu'à l'instant où commence la crépitation, c'est-à-dire quelques instants avant l'ébullition réelle du liquide. Peltier attribuait aussi l'électricité à la décomposition chimiqne; mais quolle qu'en soit l'origine, si l'évaporation tranquille n'en produit point, l'électricité de notre globe doit avoir une autre origine.

M. Gaugain a répété les expériences de Peltier avec le même résultat. L'évaporation tranquille ne produit point d'électricité, celle-ci commence avec la crépitation. En imprimant aux vapeurs qui se dégagent de l'eau distillée un mouvement brusque de rotation à l'aide d'un soufflet, M. Gaugain les a trouvées tonjours électrisées. Il attribne, par conséquent, le développement du fluide au frottement des vapeurs contre les parois du vase. Nous croyons qu'il n'est plus permis de douter de la vérité de ces déductions. Mais, répétons-le, quelle que soit la cause de l'électricité dans l'ébullition, l'évaporation lente comme celle qui a lieu naturellement à la surface terrestre n'en produit pas. M. Gaugain, dans son mémoire présenté en 1854 à l'Académie des sciences de Paris, s'exprimait en ces termes :

« Du reste, les faits exposés tout à l'heure conduisent à une conséquence importante ; c'est-à-dire qu'on n'a plus le droit d'attribuer l'électricité de l'atmosphère aux séparations chimiqnes qui ont lieu dans l'évaporation tranquille des eaux des mers. (*Comptes-Rendus*, vol. 38, page 1,012.) »

Malgré ces raisons, il y a encore des physiciens distingués qui voient dans l'évaporation l'origine de l'électricité de notre globe ; ils affirment que si dans l'évaporation lente et tranquille il n'y a aucun signe d'électricité, c'est peut-être parce qne la vapeur ne présente aucune tension électrique tant qu'elle se maintient à l'état élastique ; mais lorsqu'elle se condense elle pourrait la développer comme il arrive pour la chaleur. On ajoute à l'appui de cette manière de voir que l'électricité dans l'atmosphère est ordinairement en rapport avec les quantités de

vapeurs, non seulement dans les condensations brusques, occasionnées par les orages, mais dans les autres condensations tranquilles, qui ont lieu aux différentes heures du jour.

On ajoute, en outre, qu'à l'instant de la condensation, une partie de la force vive qui constitue la chaleur pourrait être transformée en mouvement de l'éther intérieur, et celui-ci s'accumuler en différente quantité à la surface des molécules de la vapeur ou des gouttes du liquide. On croit prouver cela en disant que pour former la plus petite gouttelette semblable à celles dont se composent les nuages ou les brouillards, il faut un nombre considérable de molécules de vapeur, lesquelles, dans ces deux états différents, doivent avoir l'éther différemment disposé.

Mais, en réponse à ces raisonnements, nous rappellerons les travaux entrepris par Faraday, pour s'assurer si la condensation des vapeurs était véritablement la cause de l'étonnante tension électrique des machines hydro-électriques d'Armstrong. On sait que les expériences exécutées par ce savant distingué l'ont conduit à un résultat négatif; c'est-à-dire que le développement de l'électricité n'est nullement produit par la condensation des vapeurs.

Nous accordons volontiers qu'à l'instant où les molécules de la vapeur s'échappent du liquide, comme aussi à l'instant de leur condensation, elles puissent se montrer électrisées. Nous convenons même que toutes les causes indiquées peuvent faire naître des tensions électriques. Car, d'après les connaissances que nous avons sur la nature de l'électricité, il nous est permis d'affirmer que le simple rapprochement de deux corps de différente nature, ou même homogènes, pourvu qu'ils se trouvent dans des conditions différentes, doit modifier l'éther à leur surface et changer leur état électrique. Mais nous ne pourrions pas admettre que les immenses torrents d'électricité dont nous voyons souvent sillonnée l'atmosphère soient l'effet de causes si minimes.

Les physiciens auraient dû chercher ailleurs l'origine de cette électricité. Quelques-uns l'ont fait. Ils ont cru l'avoir entrevue dans le rayonnement solaire. La science aurait peut-être fait aujourd'hui d'autres progrès si on leur était venu en aide. Malheureusement, ne se voyant pas secondés dans leurs efforts, ils abandon-

nèrent le champ de leurs recherches. C'est ici le lieu de raconter brièvement les travaux qui ont été faits dans le but de démontrer l'existence d'une action électrique et magnétique des rayons lumineux.

Morichini, professeur de chimie à la Sapience, à Romo, avait, pour la première fois en juin 1812, observé dans le rayon violet du spectre solaire une action magnétique capable d'aimanter une aiguille à coudre. Cette expérience, renouvelée par plusieurs expérimentateurs, fut tantôt confirmée, tantôt démentie pendant plusieurs années.

Faraday, venu à Romo en 1814, expérimenta avec l'appareil même de Morichini et n'obtint aucun des résultats annoncés par ce dernier. Les expériences de Volta, à Milan, et de Gay-Lussac, à Paris, furent de même contraires à Morichini; tandis que Babini affirmait non seulement être parvenu à aimanter une aiguille, mais il crut voir dans le rayon violet une attraction réelle tendant à soulever l'aiguille elle-même.

Le marquis Ridolfi crut avoir fait un pas de plus. Il affirmait que les aiguilles laissées dans l'obscurité sous l'influence du magnétisme terrestre s'aimantaient moins fortement que les autres placées sous l'action directe des rayons solaires. D'Hombres-Frimas, qui répéta les mêmes expériences, ne vit rien qui prouvât l'action magnétique de la lumière.

En 1824, M^me Sommerville, en mettant les aiguilles seulement par moitié sous l'influence du rayon violot ou du rayon blou, obtenait constamment dans cette partie un pôle Nord et dans l'autre un pôle Sud. Cette même année, Arago en donnait la nouvelle à l'Académie des sciences de Paris, et ajoutait que ces expériences ayant été faites avec succès par la Société royale de Londres, il était impossible de mettre en doute la vérité des faits annoncés.

Baumgartner, non seulement confirma les résultats de la dame anglaise, mais il parvint à aimanter des aiguilles d'acier du diamètre des aiguilles ordinaires à tricoter. Il enlevait le poli à la moitié de l'aiguille, et l'exposait ensuite directement à la lumière solaire. La moitié dépolie prenait toujours le pôle Sud, et la partie brunio le pôle Nord, quelle qu'eût été d'ailleurs au commencement l'orientation de l'aiguille. Cristie, avant lui, s'était aperçu que les oscilla-

tions d'une aiguille diminuaient quand on la faisait osciller sous l'influence de l'irradiation solaire.

Morichini avait annoncé, au moment de sa première découverte, qu'en concentrant avec une lentille le rayon violet, il avait par deux fois obtenu une divergence des pailles de l'électromètre. En chargeant alors l'électromètre négativement, le rayon violet avait fait abaisser les pailles, ce qui indiquait que l'électricité du rayon était positive.

Morichini, pour démontrer la réalité de la propriété observée par lui dans le rayon violet, dit qu'en concentrant la lumière blanche, celle-ci ne produit sur les pailles de l'électromètre aucun effet. Cristie affirmait que la lumière solaire diminuait le nombre des oscillations d'une aiguille, de quelque nature qu'elle fût.

Plus tard, Walt suspendit sous une cloche de verre des aiguilles mobiles à une extrémité desquelles il plaçait des disques de différentes substances. Alors, sous l'influence d'une sonrce lumineuse quelconque, même de la lune, il vit tous ces disques se tourner vers la source lumineuse, attirés par elle, de manière que la face plane du disque se tenait d'abord parallèlement à la direction des rayons incidents. Après un certain temps, il se produisait une répulsion, et les disques finissaient par s'arranger de façon à présenter le minimum de surface aux rayons lumineux.

MM. Riess, Moser et Jacobi s'occupèrent à leur tour de cette question, et avec une suite d'expériences minutieuses et, à ce qu'on dit, précises. Ils crurent pouvoir établir que le rayon violet ne possède aucune propriété magnétique. L'arrêt était prononcé, l'action magnétique de la lumière fut proscrite. Morichini, qui voulait encore élever la voix pour appuyer les résultats favorables obtenus jusqu'alors, fut proscrit lui-même. On le regarda comme un homme à paradoxes, et l'on vit dans ses écrits « un manque par trop absolu de la critique nécessaire pour mériter le nom d'observateur intelligent. »

Quoi qu'il en soit, nous ne voulons ni défendre Morichini, ni blâmer celui qui l'a si sévèrement jugé. Nous ne voulons pas non plus nous occuper de la question du magnétisme du rayon violet, nous parlerons seulement ailleurs de l'action de la lumière blanche sur les

variations de l'aiguille aimantée ; pour le moment, nous devons nous borner à parler de son action électrique.

Pfaff prétendait que tous les phénomènes obtenus par Walt n'étaient que des effets purement mécaniques, résultant des courants déterminés par l'action calorifique. Ses expériences parurent convaincantes, et l'électricité de la lumière, commo son action magnétique, fut regardée comme un pure chimère. Matteucci, qui, à ce qu'il semble, ignorait les débats qui avaient précédé, annonça, en 1829, quo, convaincu depuis longtemps de l'action électrique des rayons lumineux, il en avait trouvé la preuvo dans la divergence des feuilles d'or de l'électromètre en présence de lames de verre préalablement exposées à l'irradiation solaire.

M. Edmond Becquerel fit, à son tour, des expériences qui parurent jusqu'à un certain point venir à l'appui de l'électricité solaire. Il versait dans un vase, divisé par une membrane mince, une solution tantôt acide, tantôt alcaline, et il y plongeait les extrémités d'un fil multiplicateur terminé par deux lames de platino ou d'or ; dirigeant ensuite un faisceau lumineux sur l'un des deux compartiments, il trouva que la lame qui y plongeait prenait le signe positif quand la solution était acide, le signo négatif quand la solution était alcalino.

Pour prouver quo ces effets n'étaient pas dus à l'action calorifique, il faisait passer la lumière à travers des lames de verre diversement colorées. Comparant ensuito les effots électriques ainsi obtenus aux effets obtenus avec une pile thermo-électrique dont les deux pôles étaient recouverts par deux lames semblables, il trouva que dans les rayons rouge, jaune et vert il n'y avait aucune action ; que l'action des rayons bleus et indigo était faible, quo celle du violet était seule bien caractérisée. Il était donc impossible de l'attribuer à un effet du calorique, puisque le minimum d'intensité calorifique du spectre se trouve au rayon violet.

Malgré toutes les expériences qui semblaient démontrer la lumière solaire douée d'une propriété électrique, les preuves contraires prévalurent et tout tomba dans l'oubli.

---

## CHAPITRE IV.

### ÉLECTRICITÉ DE LA LUMIÈRE SOLAIRE.

Nos lecteurs n'ignorent pas que nous avons rappelé de nouveau l'attention des savants sur cette question capitale. Le 1er juin 1863 nous présentions à l'Académie des sciences de Paris un mémoire où nous indiquions les résultats de nos recherches; le résumé de ce mémoire, que nous avons lu à cette même séance, se trouve aux *Comptes-Rendus* de la séance du 29 du même mois.

Nous allons dans ce chapitre rendre compte de nos expériences, ainsi que des lois que nous croyons avoir pu constater.

Vers le milieu du mois de mars de l'année 1856, un beau jour un rayon de lumière passant obliquement devant moi attira mon attention sur les atomes de poussière qu'il éclairait tout le long de son passage. Je m'arrêtai d'abord à les considérer par simple distraction, mais bientôt avec le plus grand intérêt. Il me sembla remarquer que lorsqu'ils étaient arrivés à une petite distance les uns des autres, ces atomes s'éloignaient tout à coup comme s'ils obéissaient à une force répulsive. La première pensée qui me vint fut d'attribuer ce phénomène à l'électricité de la lumière. Je prolongeai très-longtemps cette observation dans cette même matinée : je m'assurai que ce phénomène de la répulsion ne pouvait pas être mis en doute.

Je présentai aux rayons du soleil la main fermée, ayant soin de retenir mon haleine afin que l'air demeurât calme, et j'appuyai mon bras, afin d'éviter aussi autant que possible tout mouvement. Je remarquai que les atomes errant doucement çà et là, dès qu'ils arrivaient à la distance de un ou de deux millimètres, rebondissaient brusquement comme un ballon tombant sur un corps dur.

J'eus l'idée que la température ou l'évaporation de la main pourrait être la cause de ce phénomène. J'humectai ma main et je

l'exposai au faisceau lumineux : que la main fût mouillée ou non, la répulsion était la même.

Quelques jours après, je pris une boîte en verre de la longueur de 20 centimètres et dont les côtés avaient 6 centimètres de large. Elle était fixée sur un fond en bois au moyen d'une rainure garnie de coton, afin que l'air du dehors ne pût produire aucune agitation à l'intérieur : elle était serrée contre le fond avec des cordons de soie. Du milieu de la partie supérieure de cette boîte descendait un fil de cocon de la longueur de 13 centimètres, et aussi fin qu'il me fut possible de l'obtenir. Ce fil portait à son extrémité inférieure une petite boule de moelle de sureau, du diamètre seulement d'une tête d'épingle. J'exposai au rayon du soleil cet appareil improvisé : au bout de deux ou trois minutes, le fil commença à accuser des oscillations qui devinrent bientôt très-vives. Une particularité me frappa ; ce fut l'intermittence de ces oscillations : tantôt ces mouvements se ralentissaient peu à peu, tantôt ils cessaient tout à coup. Il est inutile de rapporter toutes les expériences que j'ai faites avec le même appareil ; je ne parlerai que des dernières, de la fin de mai de la même année. Je copie mon journal.

*22 mai.* Vers les neuf heures du matin, le soleil était très-chaud, le ciel limpide ; agitation très-sensible après deux minutes d'exposition (l'exposition était au Nord-Est, la fenêtre où reposait l'appareil était élevée de 14 mètres). Après avoir laissé la boite sous l'action du soleil pendant assez longtemps, afin d'en obtenir des mouvements très-vifs, je la portai à l'ombre dans l'intérieur de l'appartement; le mouvement continua encore pendant cinq ou six minutes, puis, après ce laps de temps, j'ouvris la boîte, je la touchai en divers endroits avec la main et je la fermai de nouveau ; le phénomène continua encore, bien que fort affaibli. Deux minutes après, il avait complétement disparu.

Dans l'après-midi, vers les deux heures, j'expérimentai dans un autre lieu exposé au Sud-Ouest ; le soleil y donnait, mais le ciel était chargé de vapeurs, sans cependant qu'il y eût des nuages, et sans que le soleil fût sensiblement couvert; je laissai l'appareil quinze minutes sous l'action solaire sans pouvoir obtenir le moindre indice de mouvement. Je pensai que cela venait de ce que le lieu n'était

pas aussi ouvert que celui où j'avais jusqu'alors fait mes expériences. Cependant, c'était précisément à cet endroit que j'avais observé le phénomène la première fois.

*23.* Dans toute la journée, aucun mouvement. Le soleil était chaud, mais le ciel couvert ; il y avait du vent, mais absolument insensible à la fenêtre où se trouvait l'appareil ; c'était la première fenêtre dont nous avons parlé, située au Nord-Est.

*24.* Le ciel était plus couvert que le jour précédent, l'air chargé de vapeurs épaisses ; vers le soir, nuages au Sud-Est, vent de S., pluie. Aucun mouvement.

*25.* Soleil très-vif, ciel pur. Vers sept heures du matin, les oscillations du fil commencèrent ; ce jour-là, je commençai à introduire un thermomètre (centigrade) dans la boîte, pour voir si les agitations du pendule étaient, quant à la rapidité du mouvement, en raison directe de la température ; à dix heures quinze minutes, la température était de 28° centigrades ; le mouvement était visible à quatre mètres de distance. A dix heures trente minutes, je retirai l'appareil de la fenêtre pour le placer à l'intérieur de l'appartement, mais à un endroit où il continuait à être frappé par le soleil ; la température diminua d'un degré, et le mouvement, dans l'espace de quelques minutes, s'affaiblit sensiblement, tandis que la température restait constante à 27°.

Je fermai la fenêtre et les volets, de manière à ne laisser pénétrer de soleil que ce qu'il fallait pour que l'appareil s'y trouvât intérieurement plongé ; le thermomètre descendit à 26°5, le phénomène ne parut pas changer. Je replaçai l'appareil sur la fenêtre ; à midi, le thermomètre marquait 33°, l'oscillation était à peu près la même qu'à dix heures quinze minutes.

A trois heures de l'après-midi, j'expérimentai dans la chambre exposée au Sud-Ouest, et bien que le thermomètre marquât 26°, la pendule resta immobile. L'appareil ayant été replacé sur la fenêtre, le thermomètre arriva bientôt à 33°, et le mouvement commença à se manifester sensiblement comme le matin à dix heures trente minutes. La boîte retirée du soleil, le mouvement continua, même à l'ombre. Ensuite, l'ayant ouverte et touchée comme la veille en plusieurs points et plusieurs fois, le mouvement

continua à être sensible, et il ne cessa que quand le thermomètre fut descendu à 28°5 ; la température ambiante était à ce moment plus basse de 7°.

Vers les trois heures quinze minutes, l'atmosphère du côté du couchant était chargée de vapeurs ; l'appareil, exposé au soleil direct pendant dix minutes et à une température de 26°, ne donna aucun signe.

*26*. L'atmosphère était quelque peu chargée de vapeurs ; à sept heures trente minutes du matin, la température était de 22° ; après cinq minutes, j'eus des signes très-faibles. A huit heures, thermomètre 31°7, les signes avaient augmenté, mais de peu, et n'avaient aucune proportion avec ceux des jours précédents, à la température de 28°.

*27*, *28*, *29*. Ciel couvert en grande partie, le soleil très-fréquemment découvert, le thermomètre est parfois monté jusqu'à 36° ; cependant, pas de mouvement. Le vent n'était pas sensible.

*30*. Ciel couvert de nuages, un peu de pluie, vent très-léger ; aucun mouvement.

*31*. Vers le soir, le vent du N. balaya les nuages : le matin, le ciel avait été entièrement couvert. Pas de mouvement toute la journée.

*1er juin*. A dix heures du matin, ciel très-clair, température 31° ; très-vive agitation du pendule. Ayant mis la boîte dans l'ombre, le fil continua d'osciller encore pendant dix minutes ; le thermomètre alors était descendu à 21°.

De toutes ces expériences et d'autres faites antérieurement, je n'ai pu formuler aucune conclusion. Quelle était la cause de ces mouvements ? Ce n'était pas la température, puisque l'on a vu que parfois le thermomètre était arrivé à 36° sans que le fil donnât le plus léger indice du phénomène. Pouvait-on les attribuer à l'électricité ? Mais pourquoi les signes n'étaient-ils pas constants ? Pourquoi n'étaient-ils pas réguliers ? Pourquoi ne cessaient-ils pas quand la boîte avait été touchée à plusieurs reprises à l'intérieur ? Il est vrai qu'un récipient en verre qui a été électrisé conserve longtemps de l'électricité, même après avoir été touché plusieurs fois avec la main ; mais, malgré cela, les phénomènes dont je viens de rendre compte

étaient si bizarres, que je ne pus entrevoir aucune explication satisfaisante. Je crus seulement avoir remarqué une relation entre l'état du ciel et les mouvements du pendule; car lorsque l'air était chargé de nuages ou de vapeurs, les signes cessaient ou ils devenaient peu sensibles. C'est pourquoi, ayant en vue de m'assurer principalement de la réalité de ce rapport, à partir du 1er juin je commençai à faire des expériences avec un galvanomètre de quantité, sous la cloche duquel j'avais introduit un thermomètre, le même qui m'avait servi jusqu'alors.

Ce premier jour de juin donc, j'exposai le galvanomètre au soleil en tenant fermé le circuit qui était d'ailleurs homogène; un instant suffit pour faire dévier l'aiguille; la déviation fut vers l'Est. Il était dix heures quinze minutes, le thermomètre marquait 30°; l'aiguille continua à osciller vers l'Est; quelques minutes après, elle s'était écartée de 5° du méridien. En ouvrant le circuit, je vis un mouvement en sens contraire d'environ 11°; en le fermant, l'aiguille prenait parfois la direction Est, parfois elle restait stationnaire ou déviait sans aucune loi. Les expériences de ce jour et de plusieurs autres, faites avec le galvanomètre, ne m'ont rien appris. J'ai seulement observé l'action de la lumière sur l'aiguille, et rien de plus.

Quant à la nature et à la loi de son action, je ne pus m'en rendre compte; ayant remarqué toutefois que le mouvement de l'aiguille avait lieu, même quand le circuit était fermé, au lieu d'employer le galvanomètre, je me servis dès lors d'une cloche en verre où était suspendue une seule aiguille aimantée sans fil multiplicateur. Je rapporterai plus loin ces expériences.

Les mouvements du pendule que je viens de décrire et les oscillations obtenues avec une aiguille astatique me donnèrent l'idée d'expérimenter avec une aiguille non magnétique, afin de connaître quelle pouvait être l'action de la lumière sur un corps soustrait en même temps à la gravité et à l'action directrice de la terre; j'ignorais à cette époque les expériences faites avant moi et que j'ai décrites au chapitre précédent.

Je me servis à cet effet d'une aiguille de fil de cuivre très-fin, de huit centimètres de longueur, et amincie à ses deux extrémités; je suspendis cette aiguille sur un cadran métallique, à l'intérieur d'un

récipient en verre. La première fois que cet appareil fut exposé aux rayons du soleil, l'aiguille fut affolée, elle décrivait sans aucune loi des arcs parfois de plus de 20°. L'affolement avait lieu, même par un ciel pur, sans nuages et sans vapeurs sensibles ; je ne puis mentionner ici toutes les observations que j'ai faites : elles seraient sans utilité.

Il ne sera pas cependant inutile de faire connaître quelques-unes de ces bizarres et décourageantes indications que j'ai observées lorsque, ayant mis de côté le simple appareil dont je viens de parler, j'expérimentai avec un autre que j'avais fait construire dans de meilleures conditions.

Ce premier appareil à aiguille de cuivre, ainsi que je l'ai dit, n'était autre chose qu'un vase en verre, du sommet duquel descendait un fil de cocon très-fin qui soutenait l'aiguille ; elle marquait les variations sur un cadran. L'appareil était solidement maçonné sur l'accoudoir d'une fenêtre. L'extrémité supérieure du fil était attachée à une mince tige métallique fixée dans un bouchon de liége, qui pouvait tourner à frottement dans une ouverture pratiquée au sommet du vase ; au moyen de cette tige, je pouvais à volonté amener l'aiguille à l'immobilité en la descendant sur le cadran.

Cet appareil, comme on le voit, demandait de nombreuses modifications; j'en fis donc construire un autre à Naples, par le mécanicien de Palma, qui l'exécuta fidèlement d'après mes indications. Mais l'aiguille, au lieu de me donner ces mouvements rapides que j'avais obtenus avec le premier appareil, restait comme paralysée dans une position qui était toujours la même, par rapport au cadran, quelle que fût d'ailleurs l'orientation de l'instrument. Le cadran était formé d'une bande plate de laiton argenté reposant sur une plaque de cuivre, deux vis serraient le cadran contre la plaque sur deux supports du même métal. Or, l'aiguille se tenait obstinément immobile dans le plan de ces deux vis, malgré une température parfois de plus de 20°, et par un ciel très-pur. Ce n'était qu'à des températures au-delà de 30° que l'aiguille abandonnait sa position pour quelques instants, mais elle y revenait bientôt et y restait comme maintenue par une force dont je ne pouvais me rendre compte.

Je soupçonnai que le cuivre avec la bande argentée se comportaient comme les éléments d'une pile. J'enlevai donc la plaque de cuivre qui, d'ailleurs, était inutile, mais l'aiguille persistait toujours dans la même direction ; quand je la lui faisais quitter, elle y revenait de nouveau. Alors j'enlevai aussi le cadran et je le remplaçai par un autre non métallique ; l'aiguille continua à se tenir dans la même direction, qu'il ne fut plus possible de lui faire quitter à cause d'un défaut radical de l'instrument. Le thermomètre était enchâssé dans le montant destiné à porter le fil de suspension de l'aiguille ; la boule de ce thermomètre se trouvait dans le plan du cadran, et n'en était éloignée que de deux millimètres tout au plus. C'est vers la boule que l'aiguille se fixait, et, comme je l'ai dit, elle ne changeait de direction qu'à des températures élevées.

Je dus renoncer à cet appareil, et, tout en déplorant ce contretemps, j'ai été heureux de constater la vive action réciproque des corps à une distance bien plus grande que celle à laquelle s'étend l'action moléculaire.

Arrivé à Paris vers la fin d'août 1860, j'ai fait exécuter un autre appareil, dans lequel les défauts du précédent ont été écartés. Un pied en cuivre avec des vis de rappel supporte un cadran en ivoire qui, au moyen d'une vis sans fin, peut tourner sur lui-même et permet de ramener l'aiguille au zéro. Une cloche en verre fixée à une baïonnette met l'aiguille à l'abri de toute agitation de l'air extérieur. Le fil qui porte l'aiguille descend du centre du couvercle : on peut l'allonger ou le raccourcir à volonté, à l'aide d'une vis verticale, et, par là, mettre l'aiguille en repos. Le thermomètre est de même fixé sur le couvercle, mais de telle sorte que toute la graduation audessus du zéro se trouve en dehors de l'appareil.

De toutes les expériences que j'ai faites avec cet instrument et de celles que j'avais exécutées avec les autres, je crois pouvoir conclure ce qui suit :

1° Quand le ciel est très-pur, sans nuages, sans vapeurs sensibles et que l'air est parfaitement calme, l'aiguille suit le mouvement du soleil ; elle se tient, en effet, sensiblement sur la méridienne de la caustique ;

2° Dans ces circonstances, si un nuage ou même le plus léger

cirrus vient à traverser le faisceau lumineux qui investit l'appareil, à l'instant l'aiguille rétrograde et s'affole ; si le nuage ou les vapeurs après une courte durée se dissipent tout à fait, l'aiguille reprend son mouvement progressif ;

3° Lorsque l'atmosphère est plus ou moins chargée de vapeurs, et surtout s'il y a des nuages, l'aiguille est affolée ; parfois elle s'avance progressivement, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. Le plus souvent elle décrit très-rapidement des arcs de plus de 90°, puis elle rétrograde de nouveau en oscillant sans aucune loi ;

4° Quand il y a dans le ciel un nimbus bien caractérisé, l'aiguille se dirige vers le point qu'il occupe dans le ciel ;

5° Même dans les jours les plus beaux, sans nuages et sans vapeurs, le plus petit souffle de vent fait affoler l'aiguille ; lorsque des bouffées de vent se succèdent, l'aiguille se meut brusquement. Les bouffées sont le plus souvent annoncées par ces brusques mouvements de l'aiguille; le souffle du vent suit immédiatement après. Ce phénomène a lieu, même dans des appareils en verre d'une seule pièce et soudés à la lampe ;

6° Dans les jours assez beaux, lorsqu'il n'y a ni nuages, ni vapeurs, ni vent, le voisinage d'un corps quelconque empêche l'aiguille d'obéir à l'action du soleil pendant un temps plus ou moins long, selon que la saison est plus ou moins chaude.

Il est rare que l'aiguille continue à se mouvoir progressivement pendant plusieurs heures de suite ; une seule fois, ce mouvement a duré un peu plus de deux heures. Si l'on veut répéter ces expériences, on ne doit pas oublier de placer de la chaux anhydre sous le cadran pour faire absorber les vapeurs qui se forment dans l'intérieur de l'appareil, et qui, par leur présence, troublent les mouvements de l'aiguille.

Dans l'après-midi, je n'ai jamais vu l'aiguille prendre le mouvement progressif, même lorsque les jours paraissent les plus favorables ; d'ordinaire, elle est affolée. J'attribue cela à l'électrisation de la cloche et des objets environnants et à la fluctuation de l'électricité atmosphérique.

Mais de quelle nature est la cause de ces mouvements ? Proviennent-ils vraiment d'une action électrique, ou ne sont-ils pas plutôt

des effets de courants d'air produits par des différences de température? Les faits que nous avons apportés nous paraissent prouver que la température, comme telle, est étrangère à ces mouvements.

En parlant des expériences du pendule, nous avons vu que plusieurs fois une température de 36° n'a rien produit, tandis que le mouvement a été très-sensible à des températures plus faibles.

Quand l'aiguille s'avance en suivant la marche apparente du soleil, elle est troublée par un léger *cirrus* qui s'interpose entre l'astre et l'appareil sans qu'on puisse constater aucun abaissement de température.

Dans les jours les plus purs, les mouvements progressifs sont troublés par de simples souffles du vent, bien que le thermomètre n'indique point la moindre variation. On ne peut donc pas mettre ces mouvements sur le compte des températures.

En outre, si on met au soleil l'électromètre de Bennet, après quelque temps, on voit les feuilles d'or diverger comme lorsqu'on électrise la boule du même instrument. Cette divergence ne peut provenir de la dilatation de l'air de la cloche, comme l'affirment quelques météorologistes qui ont observé ce phénomène ; parce qu'on ne comprend pas comment l'air intérieur, en se dilatant, ferait diverger les feuilles d'or. De plus, le phénomène continue, même lorsqu'à l'intérieur de l'appareil la température reste stationnaire, lorsque, par conséquent, la dilatation de l'air est nulle.

En opérant avec un électromètre à fond mastiqué et fermé à la partie supérieure, de façon que l'air ne puisse ni y entrer, ni en sortir, le phénomène se reproduit de même. Les électromètres à fond mobile et à fond fixe m'ont donné identiquement les mêmes résultats. Ainsi, la dilatation de l'air n'entre pour rien dans le phénomène dont nous parlons.

La divergence des feuilles d'or ne pourrait pas non plus être attribuée à l'électricité qui existe dans l'atmosphère, parce qu'en supposant que cette électricité agisse par influence ou par contact sur la boule ou sur la tige métallique de l'électromètre, les feuilles d'or mises en communication avec le sol cesseraient de diverger. En outre, la divergence n'a pas lieu si en laissant sous l'action de la lumière la seule boule de l'électromètre, on soustrait à cette action le

reste de l'appareil au moyen d'un écran ; pour que les feuilles divergent, il faut que la cloche soit directement plongée dans le faisceau lumineux.

Il est vrai qu'on peut mettre les feuilles d'or en communication avec le sol sans que la divergence diminue, ce qui toutefois est loin de signifier que cette divergence n'est pas due à l'électricité. Cela signifie seulement que, sur les feuilles d'or et sur la tige de l'appareil, l'électricité est en équilibre avec celle du sol et des corps environnants ; il n'en est pas de même sur les parois intérieures et extérieures de la cloche.

Toutes les expériences et les conclusions mentionnées jusqu'ici ont été communiquées en particulier à divers savants de la capitale, mais elles n'ont convaincu qu'un bien petit nombre ; plusieurs sont restés dans le doute, la plupart ont nié l'existence d'une action électrique. Pour ces derniers, tous les phénomènes ne seraient que des effets mécaniques, ou, en d'autres termes, ce seraient des effets de courants d'air. Nous leur avons fait voir les mêmes phénomènes dans des appareils entièrement clos, fermés à la lampe, où il était impossible que l'air fût mis en mouvement : on nous a donné toujours la même réponse. On a prétendu que la partie de l'appareil directement présentée au soleil s'échauffait plus que les autres ; de là une élévation de l'air en ce point, d'où un courant horizontal qui devait déterminer l'aiguille à se tourner vers ce même point.

La plus grande quantité d'air renfermé dans nos appareils n'a jamais dépassé trois litres. Or, le volume de fluide étant si petit, il est impossible que se trouvant également plongé au sein d'un faisceau lumineux, il puisse se produire dans un point quelconque de sa masse un courant ascendant. Une différence de température dans les couches horizontales nous paraît impossible, et la différence entre les couches verticales, si elle existait réellement, ne pourrait non plus donner à l'aiguille les mouvements que nous lui avons vu prendre. Si dans l'intérieur de l'appareil pouvait se former quelque mouvement, il ne pourrait être que fort irrégulier, ce qui serait bien loin de diriger l'aiguille toujours dans le même plan horizontal : ce mouvement serait irrégulier comme lorsque l'aiguille est exposée directement aux courants d'air.

Il peut se faire qu'en ehauffant un volume d'air dans un seul point il en résulte un courant régulier; mais je ne comprends pas comment un courant, dans une direction quelconque, soit possible lorsqu'il s'agit d'une colonne d'air chauffée dans toute sa hauteur, surtout lorsque son volume est peu considérable.

Nous ajoutions qu'un thermomètre renfermé dans l'appareil, capable d'indiquer la température à $\frac{1}{10}$ de degré près, observé de loin à l'aide d'une lunette, aux moments des oscillations brusques de l'aiguille, n'a jamais donné aucun signe de variation. On nous a répondu que les variations de $\frac{1}{100}$ et même de $\frac{1}{1000}$ de degré, qui sont inappréciables aux thermomètres, sont plus que suffisantes pour occasionner des courants bien définis ! Cette réponse n'est, comme on le voit, qu'une simple assertion, et néanmoins elle nous était donnée avec assurance. Nous répondions qu'on ne peut raisonnablement attribuer à des variations calorifiques infiniment petites les oscillations brusques de plus de 90 degrés, surtout lorsque ces oscillations arrivent instantanément et se répètent à de très-courts intervalles, de 3, de 2 et même d'une seule seconde, dans le même sens ou en sens contraire, et sans aucun signe extérieur qui puisse être regardé comme un indice d'un abaissement de température.

Nous avons, de plus, ajouté que si les courants prétendus existaient réellement, l'aiguille ne pourrait se mouvoir toujours dans le plan du cadran. Une fois qu'elle s'est tournée dans la direction du point le plus échauffé, l'aiguille devrait *nécessairement* se montrer animée d'une agitation continuelle dans le sens vertical, à cause de l'élévation prétendue de l'air chaud. Il n'en est rien; l'aiguille se meut toujours dans le même plan.

Nous disions encore que, s'il y avait un courant d'air, l'extrémité inférieure d'un fil de soie suspendu dans l'intérieur de l'appareil devrait être d'abord entraîné par l'air qui afflue vers le point le plus échauffé, et ensuite il devrait se tenir élevé, mais toujours agité dans le sens du courant vertical. Nous avons répété cette expérience avec un fil de cocon aussi fin que possible, et, exposant l'appareil en différentes manières au faisceau lumineux, ce fil ne nous a montré rien de tout cela.

Nous avons aussi fait remarquer qu'un fil semblable attaché au

milieu d'une cloche en verre, qui est vivement agité dans les journées découvertes, reste *immobile*, non seulement dans les jours couverts, mais encore dans les jours voilés, quoique la température intérieure soit considérable. Et, ainsi que nous l'avons dit plus haut, nous avons remarqué cette immobilité pendant plusieurs jours de suite, à une température parfois de 36 degrés. Comment se rendre compte de ces effets différents? pourrait-on raisonnablement affirmer quo seulement, dans ces dernières circonstances, il n'y avait pas de courants d'air?

Nous avons beaucoup insisté sur la bizarrerie des mouvements de l'aiguille. Ces mouvements arrivent d'une manièro si étrange, que l'explication la moins admissible qu'on puisse en donner, c'est de les attribuer aux courants d'air occasionnés par des variations de température; car il faudrait supposer dans celle-ci des augmentations et des diminutions très-sensibles, ce qui ne peut avoir lieu instantanément : d'ailleurs, ainsi qu'il a été dit, le thermomètre n'accuse rien de semblable. On nous a répondu que les agitations de l'aiguille ne présentent rien de régulier, rien d'analogue aux mouvements électriques connus, et qu'on ne peut, par conséquent, les regarder comme des offets électriques.

Comment expliquer alors l'action de la lumière sur les aimants? A l'instant même qu'un faisceau lumineux vient frapper une aiguille aimantée suspendue à un fil do cocon, l'aiguille dévie très-sensiblement. Cette déviation ne pourrait être le résultat d'une action mécanique de la chaleur : 1° parce que même dans la supposition que des changements très-faibles de température suffisent pour faire dévier une aiguille non magnétique, pour déplacer une aiguille même fort peu aimantée de son méridien magnétique, il faudra toujours uno variation plus sensible que dans le premier cas, variation qui devrait être indiquée par le thermomètre; 2° parce que les déviations arrivent d'uno manière si subite qu'on ne peut pas supposer qu'entre deux déviations qui se suivent le changement extérieur de température ait eu le temps de se propager par le verre jusqu'à la partio intérieure de l'appareil et à l'aiguille elle-même : le verre étant fort mauvais conducteur de la chaleur, la transmission ne peut se faire instantanément.

De plus, les bouffées de vent troublent d'une manière étrange les mouvements de l'aiguille magnétique, lui faisant décrire d'une manière brusque d'un côté et de l'autre du méridien des arcs de plusieurs degrés, sans qu'elle puisse jamais se fixer tant que le vent dure.

La présence des vapeurs dans l'air produit le même effet lorsqu'elles viennent à s'interposer entre l'astre et l'aiguille. Mais si les vapeurs forment un nuage bien caractérisé, l'aiguille prend de suite un mouvement inverse. En sorte que la présence d'un nuage fait dévier vers l'Est le pôle Nord qui, dans les belles matinées, dévie vers l'Ouest. Après le passage approximatif du soleil au méridien, c'est le contraire qui a lieu ; le nuage fait dévier l'aiguille vers l'Ouest, tandis qu'elle se tient vers l'Est dans les beaux jours. Ce changement de l'aiguille, je n'entends pas le donner comme une loi générale ; je ne puis l'affirmer que pour les mois d'août et de septembre, dans lesquels seulement j'ai pu faire des expériences suivies.

Quel que soit l'état du ciel, toutes ces variations disparaissent à l'instant si l'on soustrait l'appareil à l'action directe des rayons solaires, pour reparaître aussitôt que l'instrument se trouvera de nouveau dans les conditions précédentes.

Toutes ces variations sont si instantanées qu'il me paraît impossible qu'elles aient leur origine dans de simples variations de température de l'intérieur de l'appareil. On sait d'ailleurs que des variations semblables, quoique moins sensibles, se manifestent dans les observatoires météorologiques, malgré toutes les précautions qu'on peut prendre pour préserver les instruments des influences directes des températures extérieures.

Nous citerons ici un fait observé par M. Horsford, pendant qu'il était occupé de ses expériences sur le pendule dans le monument de Bunker-Hill. Ce fait est le mouvement imprimé par le soleil à la grande masse de son pendule. Le monument de Bunker-Hill est un obélisque en granit, de 221 pieds de haut, ayant une base de 30 pieds carrés. La chambre intérieure de ce monument a 7 pieds de base et 5 pieds de hauteur. Le pendule suspendu au milieu de la voûte de cette chambre ne conservait pas toujours la même position. Voici le résultat de ses expériences : Le disque du pendule, en repos, com-

mençait à s'éloigner du centre de suspension, à sept heures du matin, vers l'Ouest ; à midi, il déviait vers le Nord-Ouest ; et, dans l'après-midi, vers l'Est. Cette dernière déviation était deux fois plus forte que celle du matin. Pendant la nuit, le disque revenait lentement à sa position centrale. Le grand axe de l'ellipse irrégulière, décrite par ce mouvement, était presque d'un pouce, le petit axe d'un quart de pouce. Dans les jours nuageux, lorsque le soleil était couvert, le déplacement n'avait pas lieu. *(Ateneo italiano.* Parigi, anno I, n. 1.)

Dira-t-on que ces mouvements sont occasionnés par des courants d'air ? Mais alors, pourquoi n'ont-ils pas lieu dans les jours couverts? Nous pensons qu'il ne viendra à l'esprit de personne de voir là une simple action mécanique de l'air, car le déplacement a précisément lieu en sens contraire de celui qui serait produit par les courants d'air. Le matin l'air étant plus échauffé vers l'Est, le pendule aurait dû se mouvoir vers ce point, poussé par l'air moins chaud de l'Ouest; le mouvement aurait dû se faire toujours vers l'endroit le plus échauffé, c'est-à-dire vers la position occupée par le soleil. Bien au contraire, le pendule paraît fuir le soleil.

Quant à moi, je vois dans ces mouvements un phénomène analogue à celui qui se manifeste entre deux corps électrisés. La paroi du monument, frappée directement par le soleil, se comporte sur le pendule tout autrement que la paroi opposée.

La réalité d'une action électrique de la lumière est confirmée par un grand nombre d'autres phénomènes. On connaît d'abord que la lumière détermine en plusieurs circonstances une action chimique. Le chlore et l'hydrogène, à volumes égaux, se combinent intantanément avec détonation pour produire de l'acide chlorhydrique par la simple exposition du mélange aux rayons lumineux. Le protochlorure de mercure et tous les sels d'argent sont plus ou moins rapidement décomposés ou altérés par l'action de la lumière, ainsi qu'un grand nombre de corps qui, dans les combinaisons, jouent le rôle de corps électro-négatifs. C'est sur cette propriété que repose principalement l'art photographique.

La lumière est l'agent principal de l'accroissement des végétaux : elle décompose l'acide carbonique et l'eau, et, par cette décomposi-

tion, le végétal s'assimile le carbone et l'hydrogène de ces corps, et l'atmosphère reprend leur oxigène, qui, par cette décomposition, est resté libre.

On connaît, depnis très-longtemps, une autre influence de la lumière sur les végétanx. Les plantes qu'on fait germer dans des chambres qui, ne pouvant recevoir qne par une seule ouverture les rayons solaires, se dirigent toujours vers cet endroit. M. Payer, il y a une douzaine d'années, a confirmé ce fait par des expériences nouvelles. (*Comptes-Rendus de l'Académie des sciences de Paris,* 6 novembre 1843.) Il a non seulement observé ce qne nous venons de dire, mais il a aussi constaté que les racines, au contraire des branches, cherchaient les points les plus obscurs de la chambre. Les parties des végétaux exposés à la lumière contiennent de grandes quantités d'acides oxalique, malique, citrique, tartrique, acétique, gallique, tannique, etc., tandis que les racines contiennent très-peu de ces principes ; mais, en revancho, elles contiennent des matières alcalines neutres, ou terreuses à base de chaux, de soude ou de magnésie. Les acides sont des corps électro-négatifs : leur caractère principal est de se porter toujours au pôle positif de la pile ; les autres substances sont, au contraire, des corps électro-positifs. Si nous supposons dans les rayons lumineux une action électriqne, lo double phénomène dont nous venons de parler s'expliquerait de lui-même.

Un mois et demi environ après la lecture de notre note à l'Institut, M. Ch. Musset envoyait au même Institut lo résultat do plusieurs mois d'expériences analogues aux nôtres faites par lui, à Toulouse. Il est juste de dire que nous avons fait nos expériences séparément et sans que l'un eût connaissance des travaux de l'autre. Les conclusions de ce savant sont identiques aux nôtres.

Après la description sommaire des faits qu'il a observés, il s'exprime en ces termes : « Je n'hésite donc pas à voir là une action électrique des rayons solaires. D'ailleurs, en songeant au rôle immense que le soleil joue dans la nature, n'est-il pas rationnol d'admettre une influence électrique ? A l'ombre, la chlorophylle disparaît, la plante s'étiole, les feuilles des mimoses s'endorment, le chlore et l'hydrogène restent mélangés, et les aiguilles demeurent immobiles. Mais si les rayons frappent ces corps, la plante verdoie et renaît, les feuilles

se réveillent, les deux gaz se combinent, et les aiguilles oscillent. Ces divers phénomènes, pris entre tant d'autres, ont une telle analogie, qu'ils pourraient légitimer l'opinion qui par induction ascendante rattacherait à une influence électrique les actions si multiples et souvent si mystérieuses du soleil sur la nature. (*Comptes-Rendus* 13 juillet 1863, vol. 57, p. 101.)

Nous pourrions multiplier les citations de phénomènes analogues, si nous les croyions de nature à produire la conviction dans tous les esprits. Malheureusement, tous les faits que nous pourrions ajouter, aussi bien que ceux dont nous venons de rendre compte, ne sont pas, il faut l'avouer, de nature à dissiper tous les doutes. Quant à nous, nous sommes profondément convaincu que les mouvements obtenus par l'action directe des rayons solaires ne sont pas des phénomènes mécaniques; mais nous ne nous faisons pas illusion jusqu'au point de croire que l'électricité de la lumière soit un fait définitivement acquis à la science.

Pour que ce fait fût incontestable, il faudrait qu'il fût confirmé par des expériences péremptoires.

Plusieurs membres de l'Institut m'ont conseillé de tenter de nouvelles expériences dans le vide. Je me suis rendu à leur avis. Ces nouvelles expériences ont été faites à Paris pendant à peu près deux mois, depuis les premiers jours de mai jusqu'aux premiers jours de juillet 1863. Or, dans le vide ordinaire, l'aiguille n'est plus affolée, toutes les agitations étranges sont remplacées par d'autres phénomènes. Bien souvent les aiguilles en verre, en cuivre, en argent et en platine restent immobiles sous l'influence des rayons lumineux, malgré des températures au-delà de 30°, et sont insensibles aux actions d'un bâton ordinaire de cire à cacheter ou de verre de même grandeur électrisés avec une peau de chat. Mais il arrive souvent aussi que les aiguilles présentent d'une manière frappante les attractions et les répulsions des corps électrisés. Il m'a été impossible, cependant, de saisir les causes de ces différences. Il m'a semblé seulement remarquer que les signes électriques dépendent de l'état du ciel, puisque lorsque le ciel est couvert ou fortement voilé ils cessent complétement. Parfois aussi ils n'ont pas lieu dans des jours assez beaux, mais alors le temps finit par se déranger au bout de quelques heu-

res. Pourquoi les signes, pendant plusieurs heures, sont-ils positifs ? pourquoi sont-ils négatifs pendant plusieurs autres ? C'est ce que je n'ai pu m'expliquer.

Il arrive très-souvent aussi qu'en touchant soit avec la main, soit avec un métal le récipient sous l'influence de la lumière, l'aiguille est vivement repoussée et ne revient pas à sa première position, mais elle la reprend à l'instant si on souffle légèrement sur l'endroit qu'on a touché.

J'ai pu montrer ces phénomènes à plusieurs savants ; mais je n'ai pas été assez heureux avec d'autres. Quelques-uns de ceux qui les ont observés ont continué à n'y voir que des courants d'air. Ils ont demandé que les expériences fussent répétées dans des récipients complétement vides, soudés à la lampe et munis d'un manomètre pour constater la perfection du vide. C'était demander une expérience excessivement difficile, pour ne pas dire impossible. Vu l'extrême ténuité du fil de suspension de l'aiguille, on ne pouvait employer d'autre moyen pour obtenir le vide qu'en extrayant directement l'air par les machines pneumatiques ordinaires, qui ne peuvent donner un vide parfait.

J'ai pris un récipient en verre auquel était soudé un tube dont l'extrémité supérieure avait été aussi soudée à la lampe par M. Rhumkorff, après y avoir introduit un manomètre. La pression de l'air resté dans le réservoir lorsque celui-ci a été exposé au soleil est montée à 12 millimètres. On demanda que le vide fût poussé plus loin et que le fil fût plus long, pour éviter tout effet de torsion. J'ai donc fait construire exprès un récipient cylindrique de la capacité de trois litres dont le col était un tube de la longueur de plus d'nn mètre. Ce réservoir a été, comme l'autre, mis entre les mains de M. Rhumkorff, qui a pris huit jours de temps pour dessécher l'air et pousser le vide aussi loin que possible. Lorsque l'appareil fut définitivement soudé à la lampe, le manomètre marquait un peu plus de 3 millimètres de pression. Néanmoins, on a exigé un vide plus parfait.

J'avoue que les expériences décrites ne sont pas décisives, mais on a eu tort d'exiger un vide absolu. Qnand même ce vide eût été possible, il n'aurait abouti à rien ; ou plntôt il nous aurait conduit à une fausse conclusion. Car, en faisant dans le réservoir le vide ab-



solu, on est sûr, il est vrai, qu'il ne peut plus y avoir des courants d'air, mais on est certain aussi que tout phénomène électrique y est impossible. J'ai cité alors le fait observé la première fois par M. Gassiot, qu'un courant d'induction capable de donner dans l'air une étincelle à la distance d'un centimètre ne passe pas dans le vide absolu. Ce fait n'était pas bien connu à cette époque ; aujourd'hui qu'il a été répété en France par M. Rhumkorff, par M. Dalvergna et par d'autres, il n'est plus mis en doute. Si un courant d'induction de cette force ne passe pas dans ce vide, tout phénomène de tension statique doit disparaître à plus forte raison. Les expériences faites dans le vide sont donc les plus mauvaises qu'on puisse tenter.

Il me semble que le meilleur moyen de trancher la question serait de suspendre l'aiguille dans un réservoir garni à l'intérieur d'un certain nombre de piles thermo-électriques réunies ensemble par des fils conducteurs et communiquant avec divers galvanomètres de quantité, tout en laissant le réservoir rempli d'air. Si dans quelque point de l'intérieur de ce vase, il y a une différence de température, si minime qu'elle soit, elle sera certainement accusée par quelqu'un des galvanomètres. Je suis convaincu qu'après un certain temps, les aiguilles de ceux-ci resteraient stationnaires, tandis que l'autre exposée au soleil ferait des oscillations de plusieurs degrés.

J'ai dit qu'il faut laisser tout l'air dans l'appareil ; faire autrement, ce serait tenter une expérience dans des conditions anormales. Car en dehors de l'inconvénient que nous venons de signaler, il ne faut pas oublier que le but qu'on se propose est de découvrir si la lumière est ou n'est pas la cause de l'électricité de l'atmosphère. Il importe peu de savoir quels phénomènes elle peut occasionner dans un air raréfié ou dans le vide.

L'expérience que je viens de proposer n'a pas été exécutée alors, parce qu'on ne la trouva pas assez concluante ; quant à moi, je la crois, au contraire, péremptoire. Il ne m'a pas été possible jusqu'ici de m'en occuper ; je me propose de la faire aussitôt que j'en aurai le loisir.

Si jamais cette question était prise en considération par quelque savant dévoué au progrès de la science, c'est seulement par des expériences de cette nature qu'il pourra arriver à un résultat définitif.

Nous faisons des vœux pour que quelqu'un de ceux qui se sont spécialement consacrés à l'étude de l'électricité voulût se donner cette tâche. Si M. Gangain, par exemple, qui est maître en cette matière, s'intéressait activement à cette question, le problème tant débattu de l'électricité de la lumière serait définitivement et victorieusement résolu.

Nous disons *victorieusement,* parce que telle est notre conviction; conviction qui est née en nous de la multiplicité des faits observés dans nos expériences, et que l'étude des phénomènes météorologiques a rendue plus profonde. Quiconque, sans parti pris, essayera de répéter pendant quelques jours ces mêmes expériences ne tardera pas à être, comme nous, convaincu que toutes les agitations qui se manifestent dans l'intérieur des appareils sont les effets d'un agent caché, d'une cause mystérieuse se dérobant, il est vrai, à nos recherches, mais agissant bien autrement que n'agiraient des courants d'air.

En étudiant les principaux phénomènes météorologiques au point de vue de l'électricité de la lumière, c'est-à-dire en la prenant pour base et pour point de départ, nous les avons trouvés si enchaînés et si dépendants les uns des autres et d'une explication si simple, que nous devrions nous faire violence pour supposer que les choses ne se passent pas de la sorte.

Notre thèse n'est pas démontrée d'une manière irréfragable, il est vrai, elle se trouve cependant appuyée d'un certain nombre d'arguments d'un grand poids, et dignes, au plus haut point, de fixer l'attention des météorologistes. Mais quand même nous serions partis d'une simple supposition, si elle nous conduisait à une explication plus simple et plus rationnelle des phénomènes, si elle nous les montrait naturellement enchaînés les uns aux autres, et dépendant tous immédiatement ou médiatement d'une même cause, notre théorie serait, par cela seul, préférable. La suite de nos travaux prouvera que tout cela se réalise en effet, si l'on admet que les rayons solaires sont la source principale de l'électricité terrestre et atmosphérique.

---

## CHAPITRE V.

### ÉTAT NATUREL DES CORPS.

Lorsqu'un corps présente sur lui ou occasionne sur des corps environnants quelqu'un des phénomènes que nous pouvons obtenir à l'aide de la machine électrique, nous disons que ce corps est électrisé; mais serait-il également vrai de dire qu'il n'est électrisé que dans ces cas?

Les phénomènes d'électricité statique ne sont pas les effets des quantités du fluide ou d'éther condensé sur un corps, mais les effets de la tension que le fluide exerce sur le milieu environnant : les tensions elles-mêmes ne sont pas proportionnelles à la quantité de fluide seulement, elles dépendent aussi de la surface que le conducteur lui offre. Il peut, par conséquent, arriver qu'une grande quantité d'électricité existe réellement sur un conducteur sans qu'il se manifeste sur lui aucun phénomène électrique. Il est donc certain d'un côté qu'il peut se trouver de l'électricité sur un corps, sans que nos sens soient affectés ni directement ni indirectement par aucun phénomène; d'un autre côté, comme la limite des actions des corps ne s'arrête pas où nos sens cessent d'être affectés, il ne nous est pas permis d'affirmer que l'absence des signes électriques est un indice de toute absence de tension du fluide.

Connaissons-nous les dernières limites des actions calorifiques et lumineuses? Le thermomètre le plus sensible ne nous indique pas les plus petites variations de température, et, par là même, il est bien loin de nous révéler toute l'étendue des actions calorifiques réciproques des corps entre eux. Tous les physiciens admettent aujourd'hui que les corps se renvoient de la chaleur réciproquement à toutes les températures; cependant nos sens cessent d'être affectés bien en deçà de la limite à laquelle ce rayonnement n'est plus accusé par les

thermomètres. Et même après que cet instrument est devenu stationnaire, nous ne sommes pas pour cela tentés de dire que tout rayonnement calorifique a cessé.

Il en est de même pour la lumière ; son rayonnement s'étend au-delà, beaucoup au-delà des limites de la vision. Cette limite n'est pas la même chez tous les individus ; elle dépend de plusieurs conditions, comme du plus ou moins de limpidité, et de l'indice de réfraction du cristallin, et des humeurs de l'œil, et du degré différent de dilatabilité de la pupille. Certains animaux, comme les lions, les tigres, les chats, les hyènes et, en général, tous ceux qui cherchent leur proie pendant la nuit, distinguent parfaitement les objets dans les plus épaisses ténèbres. C'est que dans les ténèbres aussi les objets continuent à s'envoyer réciproquement de la lumière ; lumière obscure, comme on l'appelle, mais elle n'en est pas moins de la lumière agissant de la même façon, bien qu'avec moins d'intensité, que la lumière qui affecte nos sens. *Lumière obscure,* ce n'est pas, si vous voulez, l'expression la plus heureuse que les physiciens aient pu choisir ; mais, répétons-le, c'est de la lumière vraie, agissant non physiquement seulement, mais chimiquement aussi comme l'autre. On connaît les effets d'hélio-chromie, qui sont dus précisément à l'action de cette lumière obscure ; nouveau genre de photographie aussi étonnant, plus étonnant peut-être, que la photographie elle-même.

Or, comme les actions calorifiques et lumineuses, ainsi que les actions électriques, ne sont que des modes différents de mouvement vibratoire d'un seul et même principe ou d'un même fluide, l'éther ; si la limite des actions caloriques et lumineuses dépasse de beaucoup la limite de perception de nos sens, il nous est permis de conclure qu'il doit en être de même des limites des actions électriques. Il ne serait donc pas vrai de croire qu'un corps n'a plus d'électricité, parce que nos sens ont cessé d'être affectés. Je conviens que dans le langage ordinaire et scientifique il ne soit guère possible de s'exprimer autrement; mon intention n'est pas de changer les expressions déjà reçues par la science. Ce que je voudrais, c'est qu'on n'affirmât pas que toute électricité disparaît avec les phénomènes ; car, si dans l'état actuel des choses il n'existe pas de corps absolument obscurs ou absolument

froids, il n'en existe pas non plus d'absolument privés d'électricité.

S'il en est ainsi, nous sommes naturellement et nécessairement conduits à reconnaître entre tous les corps une action électrique réciproque, comme nous reconnaissons l'existence d'une action réciproque par rapport à la lumière et à la chaleur, et à envisager, par conséquent, les actions électriques, non pas comme des actions passagères, mais comme des actions permanentes, à la façon de la chaleur et de la lumière.

Cela nous conduit aussi à une autre conclusion : c'est que si les choses se passent de la sorte, nous sommes forcés de regarder les phénomènes d'électricité statique, non comme le résultat d'une *exagération* des vibrations naturelles des corps, mais comme des effets immédiats des vibrations naturelles elles-mêmes. Il peut cependant se faire que toutes les fois que les phénomènes électriques affectent nos sens, ou directement, ou par le moyen d'instruments plus ou moins délicats, le mouvement moléculaire des corps sur lesquels ces phénomènes se passent soit plus ou moins exagéré ; mais il ne serait pas vrai de dire que les objets ne sont électrisés que dans le cas d'exagération de ces mouvements. D'ailleurs, il serait bien difficile de déterminer quel est l'état normal de vibration des molécules de la matière, vu que ces mouvements doivent être continuellement modifiés par les changements extérieurs de température et do pression, par le contact et le voisinage même d'autres corps, et je dis aussi par l'état hygrométrique de l'air ; car, comme toutes ces causes occasionnent des variations dans la conductibilité électrique des corps, ou, en d'autres termes, comme elles tendent à modifier le mouvement longitudinal de l'éther, les mouvements vibratoires du même fluide doivent nécessairement éprouver aussi des variations. Mais revenons à notre principal sujet.

Cette action permanente de l'électricité entre tous les corps se déduit, non seulement de l'analogie, mais elle est aussi confirmée par les faits.

Si nous voulons évaluer les actions calorifiques ou lumineuses, nous le pouvons, parce que nous avons *des points de départ* et des instruments qui nous permettent, tant bien que mal, d'apprécier la

différente intensité de ces actions sur *chacun* des objets plongés dans un milieu quelconque. Il n'en est pas de même de l'électricité : nos instruments n'accusent ni la quantité absolue, ni même la quantité relative ou le degré de condensation du fluide sur chaque corps, mais seulement *l'excès* de condensation de l'un sur les autres. On comprend dès lors qu'un groupe de corps peut non seulement posséder de l'électricité sans tension, comme nous disions au commencement de ce chapitre, mais une tension, même considérable, sans que nous ne nous en doutions nullement.

Prenez un pendule électrique, un électroscope à moelle de sureau, suspendez-le au-dessus d'un conducteur annulaire isolé, de telle sorte que la boule se trouve au centre du conducteur lui-même ; électrisez ce dernier, le pendule restera immobile. Vous pouvez répéter cette expérience avec un des hémisphères de Magdebourg renversé, placé sur la machine électrique, ou bien avec un des hémisphères destinés à démontrer l'accumulation de l'électricité à la surface des corps, ayant soin de suspendre le pendule bien au centre de l'hémisphère et un peu au-dessus de ses bords, avant de mettre en mouvement la machine. Lorsque vous exécutez cette expérience dans l'obscurité, vous verrez une couronne lumineuse aux bords de l'hémisphère. C'est le fluide qui, ayant acquis une tension suffisante pour vaincre la résistance du milieu, s'échappe sans que cependant le pendule vous en révèle la présence. Le résultat doit être le même sur un pareil électroscope entouré d'un groupe d'objets à tension électrique égale.

Je n'entends dire là rien de nouveau ; car il n'est pas nécessaire de répéter l'expérience pour se persuader que les choses doivent se passer ainsi. C'est une vérité qui découle des lois de Coulomb sur les attractions et les répulsions électriques, ou plutôt je dirai que c'est une vérité évidente pour quiconque n'ignore pas les premiers éléments de la mécanique. Ainsi, ce n'est pas sur le fait lui-même que je veux porter l'attention du lecteur, mais sur les conséquences de ce fait qui, d'après moi, sont d'une très-grande portée.

Si, au lieu d'arrêter votre esprit aux bornes de ce petit conducteur, vous en supposez un autre d'une très-grande étendue, et que vous preniez la place de l'électroscope, vous n'éprouverez sur vous aucun

phénomène ; vous ne vous douterez pas même de l'existence des tensions électriques autour de vous. Si, au lieu de vous tenir isolé au milieu de ce conducteur, vous vous mettez en communication directe avec lui, prenant cependant les précautions nécessaires pour que l'électricité ne s'écoule pas au sol, vous n'éprouverez rien non plus. Ainsi donc, soit que vous soyez isolé au centre d'un conducteur, soit que vous en fassiez partie en vous tenant au milieu du conducteur lui-même, quelle que soit la tension du fluide, faible ou forte, non seulement vous ne pourrez pas l'apprécier, mais vous ne vous douterez même pas de son existence. Cette tension pourra augmenter ou diminuer ; le fluide pourra même s'écouler en partie ou entièrement sans que vous en soyez nullement averti.

Dans cet état de choses, interrogez vos électromètres, ils resteront obstinément muets. Pourquoi cela ? parce que vous vous trouvez, ainsi que vos électromètres, dans les conditions d'un corps sollicité en tous sens par des forces égales et contraires. Que l'intensité de chacune de ces forces augmente ou qu'elle diminue également, leur résultante ne variant point, les conditions du corps par rapport à l'espace ne seront pas changées ; la résultante, dans tous les cas, étant nulle, le corps restera en repos.

Cependant, bien que le corps ne passe pas d'un point à un autre de l'espace, les forces ne sont pas sans action sur les molécules du corps lui-même ; on doit en dire autant de l'électricité. Partout où le fluide se trouve, ayant une tension puissante ou faible, bien que cette tension ne soit pas accusée par les appareils, le fluide ne sera pas pour cela inerte et sans action sur les molécules de la matière. Il faut donc nécessairement admettre entre les corps dont il est question une action électrique réciproque ; action électrique, répétons-le, qui ne frappera pas nos sens, qui ne sera pas appréciable au moyen d'aucun des appareils que nous possédons, mais qui n'en sera pas moins réelle que le sont les deux actions particulières de la chaleur et de la lumière, dont nous avons parlé plus haut.

Mais ne croyez pas que tout ceci soit seulement vrai pour le cas particulier dont il a été question jusqu'ici ; car, d'après moi, c'est un fait général, c'est ce qui se passe effectivement dans la nature, soit au sein de l'atmosphère, soit sur la surface terrestre. Je prie le

lecteur de vouloir continuer à me suivre avec bienveillance ; j'espère que je n'aurai pas trop de peine à le convaincre.

D'abord, quant à l'atmosphère, lorsqu'on abaisse, ou qu'on élève, ou qu'on transporte un électromètre de Bennet d'un lieu à un autre, pourvu que ce soit à l'air libre et en lieu élevé et dégagé, l'électromètre donne toujours les signes plus ou moins prononcés d'une tension électrique. Ce fait, observé pour la première fois par Saussure, et après lui par Ermann, par Peltier et par M. Palmieri, quoique expliqué par chacun d'eux d'une manière différente, prouve suffisamment qu'il existe partout de l'électricité libre, de l'électricité en action dans l'atmosphère. Mais si vous fixez l'électromètre dans la couche d'air que vous venez d'explorer, les feuilles d'or s'abaissent bientôt et tout signe d'électricité disparaît. C'est que l'électricité de l'appareil se dissipant peu à peu, celui-ci se trouve dans les mêmes conditions dans lesquelles vous vous trouviez tout à l'heure au milieu du conducteur ; les tensions électriques sur l'électromètre et sur la couche d'air qui l'environne sont égales. Pour vous en assurer, transportez dans ce même endroit un autre électromètre d'une autre couche plus élevée ou plus basse, ce dernier vous donnera des signes d'électricité, tandis que les feuilles d'or du premier restent immobiles.

Ermann s'était déjà aperçu que lorsqu'on élevait dans l'air un objet isolé, celui-ci se trouvait électrisé positivement, et négativement lorsqu'on l'abaissait. Dans le but d'explorer l'électricité de l'atmosphère, il plaça un électromètre de Bennet à une certaine hauteur ; l'instrument ne donna aucun indice d'électricité. Mais ayant porté dans une couche supérieure un fil métallique fixé à l'extrémité d'une tige isolante, et l'ayant abaissé ensuite rapidement jusqu'à toucher l'électromètre, l'appareil accusa aussitôt le signe d'électricité positive. L'effet était inverse lorsque le fil métallique avait été porté dans une couche inférieure à l'électromètre.

Ceci prouve, d'une manière ce nous semble incontestable, l'existence de l'électricité à l'état libre, l'existence d'une tension dans ces différentes couches de l'atmosphère. En effet, on ne pourrait supposer que cette électricité se fût développée au moment du transport du fil métallique par le frottement de celui-ci contre l'air, car on ne comprendrait pas dans ce cas pourquoi le transport du fil de bas en haut

donne le signe contraire à celui qu'on obtient en le transportant de haut en bas.

J'ai répété l'expérience d'Ermann de la manière suivante : J'ai fixé deux électromètres de Bennet, parfaitement semblables, sur deux supports en bois, l'un de trois, l'autre d'un peu moins de cinq mètres de hauteur. C'était à la campagne, dans un lieu peu élevé, mais assez ouvert et éloigné de toute habitation. Les supports étaient situés à la distance d'un mètre environ l'un de l'autre. A l'aide d'une échelle double, je pouvais m'élever à volonté jusqu'au niveau du second. Or, en portant rapidement du niveau de l'électromètre inférieur au contact de la tige métallique de l'électromètre supérieur, une boule en cuivre isolée à l'extrémité d'un tube en verre, j'ai obtenu toujours des signes négatifs, tandis que les signes étaient positifs lorsque je portais la boule de l'électromètre supérieur à l'inférieur. Au bout de quelques secondes, les signes électriques disparaissent pour apparaître de nouveau en répétant l'expérience.

Si, au lieu de la répéter de la même manière, on porte doucement la boule métallique dans une couche également éloignée des deux électromètres, et qu'on la transporte brusquement jusqu'au contact de l'un des appareils et qu'on en fasse autant avec le second, on trouve encore le supérieur électrisé négativement, l'inférieur positivement ; une même couche donne donc les deux signes. Elle est positive par rapport à la couche inférieure, négative par rapport à la supérieure. Ce dernier phénomène est une preuve des plus frappantes que les signes électriques ne sont pas les effets de deux fluides distincts, ni de deux modes différents d'existence d'un fluide unique, mais l'effet de tensions relatives différentes d'un même fluide dans le sens que nous avons ailleurs expliqué. En d'autres termes, cette couche est plus électrisée que l'inférieure et moins que la supérieure.

Ce qui se rapporte plus directement à notre but, ce sont les signes eux-mêmes. Ils démontrent, à n'en pouvoir douter, l'existence de tensions électriques au sein de l'atmosphère, dans des endroits où un électromètre resté fixe pendant quelque temps n'en donne pas le moindre signe. Il ne serait donc pas vrai de dire qu'il n'y a d'électricité libre, qu'il n'existe de tension électrique, que là où se manifestent les phénomènes ordinaires ; car, nous l'avons déjà démontré,

les signes ordinaires d'attraction ou de répulsion, ou de lumière, etc., ne sont pas les effets des tensions absolues, ni même les effets des tensions relatives ou du degré de condensation du fluide sur chaque corps, mais les effets de l'excès de condensation de l'un sur les autres. Il est donc hors de doute que dans l'atmosphère il existe réellement de l'électricité ayant une tension plus ou moins forte. Nous verrons tout à l'heure que de pareilles tensions existent aussi à la surface terrestre.

D'après ce que nous venons de dire, on comprend pourquoi, en explorant l'air de l'intérieur des habitations, nos appareils ne nous révèlent pas la présence du fluide. Pour qu'un électromètre commence à donner des indications, il faut le faire sortir des conditions d'équilibre; or, vu le volume restreint de l'air des habitations et son contact continuel avec tant d'objets différents, l'électricité, en chaque point de l'habitation, aura la même tension. Les feuilles d'or resteront immobiles, tout comme un thermomètre reste stationnaire, indiquant la même température lorsqu'on le transporte successivement en différents endroits d'une même chambre également échauffée.

Voilà pourquoi il peut arriver, et il arrive de fait, qu'un électromètre à l'air libre et dans des sites dégagés, de quelque façon qu'on répète l'expérience, ne donne aucun signe d'électricité. L'air peut être tellement humide qu'il se comporte à peu près comme les corps conducteurs; l'électricité atmosphérique passera facilement au sol, et l'équilibre s'établira entre les couches inférieures de l'atmosphère et la surface terrestre. Les jours de grande humidité peuvent être considérés par rapport à l'électricité comme les jours très-froids par rapport à la chaleur. La tension électrique dans les jours humides sera relativement moindre que dans les autres, mais elle ne pourrait être nulle. Les couches inférieures de l'atmosphère et les corps placés à la surface terrestre forment comme un conducteur très-vaste, sur lequel le fluide peut se répandre et se mettre en équilibre : la tension étant la même sur tous ses points, l'électromètre se trouvera dans les conditions dont nous venons de parler ; les signes électriques doivent nécessairement faire défaut.

On admettra sans peine l'existence de tensions électriques dans l'atmosphère, tant que l'air n'est pas devenu conducteur : mais le plus

grand nombre de nos lecteurs sera surpris d'entendre qu'il puisse y avoir aussi tension dans l'air humide et sur la surface de la terre. Cet étonnement est bien naturel, puisqu'on est habitué à considérer les conducteurs comme des corps qui laissent passer au sol l'électricité aussitôt qu'ils sont mis en communication avec lui. Or, cette doctrine, professée sans exception par tous les auteurs qui ont écrit sur cette matière, est, croyons-nous, bien loin d'être vraie.

Sans doute, si la source électrique est faible comme celle de nos machines, la tension que nous pouvons obtenir sur un corps n'étant pas considérable, l'électricité s'écoulera presqu'instantanément si on le met en communication avec le sol. Il n'en est pas de même si la source est puissante, car alors le fluide pénètre plus ou moins le corps, d'où il s'écoule d'autant plus difficilement que la tension de la charge a été plus forte.

En effet, lorsque la foudre a éclaté sur un paratonnerre, les conducteurs, quoiqu'ils soient en communication avec le sol, conservent longtemps une tension formidable ; de telle sorte que dans la nuit on voit pendant plus ou moins longtemps des gerbes de lumière sur différents points de la chaîne; et, même après leur disparition, la tension est encore assez puissante pour terrasser un homme. J'ai connu un individu qui, ayant imprudemment touché le conducteur d'un paratonnerre une dizaine de minutes après le passage du météore, en fut renversé avec vomissement de sang et ressentit pendant plusieurs jours une vive douleur dans tous les muscles de la poitrine.

On sait également que les individus frappés par la foudre continuent parfois pendant quelque temps à être électrisés, au point de donner des commotions aux personnes qui les toucheraient imprudemment trop tôt.

Mais, sans recourir aux effets de la foudre, on peut se convaincre de cette vérité en se soumettant pour quelques instants à l'action du courant d'induction de l'appareil de Clark. Les effets produits par ce courant sur le corps humain ne cessent pas quand on cesse de faire partie du circuit. Si, quelques minutes après, on trempe les index dans deux verres contenant de l'eau pure où on a préalablement placé les extrémités en platine du fil d'un galvanomètre de tension, et qu'on les touche légèrement, l'aiguille du galvanomètre accuse l'existence

d'un courant qui n'existait pas avant l'action de l'appareil. On ne pourrait donc pas douter que ce phénomène n'ait été excité par le conrant d'induction lui-même. Ce fait est parfaitement connu, bien qu'il ne le soit peut-être pas de la généralité des savants.

Si vous électrisez un conducteur en lui donnant toute la tension possible, à l'aide d'une bonne machine électrique, vous ne lui ferez pas perdre tout le fluide en le touchant une fois. Lorsque j'électrise ainsi pendant un temps sec une sphère en cuivre d'un décimètre de diamètre, la tenant d'une main par un manche isolant, je puis la toucher jusqu'à dix fois de suite sans que je lui fasse perdre pour cela toute l'électricité. En effet, si, après ce contact réitéré, je touche avec le globe l'électromètre de Bennet sans condensateur, celui-ci m'indique encore une assez forte tension.

On pourrait m'objecter qu'en touchant le globe avec un doigt, je n'offre pas à l'électricité une surface suffisante pour qu'elle ait le temps de s'écouler; je répondrai que, vu la rapidité de propagation de l'électricité, cette objection ne me paraît pas solide; car l'électricité que la machine peut céder à un globe métallique isolé n'est pas considérable, et s'il était vrai que les corps électrisés mis en communication avec le sol ne peuvent conserver aucune tension, un seul contact instantané aurait été plus que suffisant pour en faire disparaître jusqu'au moindre signe.

Prenez une bouteille de Leyde à armatures mobiles, chargez-la au maximum, déchargez-la ensuite, et continuez à tenir les deux armatures en communication, pendant quinze à vingt secondes, à l'aide de l'excitateur. Après ce laps de temps, la bouteille n'a pas cessé d'être électrisée; vous en retirerez encore des étincelles. Lorsque les étincelles ont cessé, touchez directement, avec vos mains, les deux armatures sans les séparer; vous croirez que toute l'électricité a disparu, et pourtant l'électromètre vous révèlera une tension assez forte, même après avoir prolongé ce contact pendant vingt autres secondes et davantage.

Vous direz que ces phénomènes ont lieu parce que l'électricité a pénétré le verre, d'où elle ne peut s'écouler instantanément parce que le verre est mauvais conducteur. Il est incontestable que toutes les étincelles successives qu'on tire de la bouteille, et les signes de

tension qu'on en obtient ensuite, proviennent de ce que le fluide a pénétré plus ou moins profondément le verre; et les phénomènes qu'on obtient, après le contact prolongé de deux armatures, auraient complétement fait défaut sans l'interposition du verre ou d'un autre corps analogue entre les deux armatures; mais on ne peut les attribuer exclusivement au verre : il faut nécessairement admettre que l'armature intérieure a été pénétrée à son tour. En effet, après que vous aurez déchargé la bouteille, comme nous venons de le dire, retirez sans retard de son bocal, à l'aido d'un crochet en verre, l'armature intérieure, quelle quantité d'électricité contiendrait-elle, cette armature qui était tout à l'heure en communication avec vous ou avec le sol ? Elle devrait être très-faible et à peine sensible à l'électromètre, puisque l'électricité restée dans le verre, qui d'ailleurs n'est pas considérable, s'en sépare difficilement. Cependant vous pouvez encore toucher, avec le doigt ou avec une tige métallique, cette armature sans lui enlever toute tension; car vous verrez encore, après ce contact, un écart très-prononcé des feuilles d'or. Le fluide avait donc pénétré l'armature. Il doit en être et il en est réellement ainsi, plus ou moins pour tous les corps, dont il se sépare d'autant plus difficilement que la pénétration a été plus profonde. Voilà pourquoi, dans tous les cas que nous venons d'indiquer, nous trouvons sur les corps plus ou moins d'électricité après le contact.

Au reste, tous les physiciens conviennent que le fluide condensé sur les corps les pénètre tous, même les conducteurs. Or, comme les corps conducteurs ne le sont pas tous à un même degré, le mouvement de l'éther dans leur intérieur ne s'accomplira pas de la même manière, et à toute autre condition égale, la condensation ne sera pas la même; la pénétration du fluide n'aura pas lieu non plus à une égale profondeur, et, par conséquent aussi, il ne s'écoulera pas de tous les conducteurs avec la même rapidité. Il suit de là que l'écoulement sur un même corps se fera d'autant plus lentement que la couche condensée l'a plus profondément pénétré.

Il n'est donc pas vrai que les corps conducteurs perdent toute électricité aussitôt qu'ils sont mis en contact avec le sol. Les quantités d'électricité que nous pouvons exciter au moyen de nos appareils, et

que nous pouvons accumuler sur les corps, sont des quantités infiniment petites, relativement à celles que nous voyons mises en jeu par les forces de la nature. Il n'est donc pas étonnant que les charges que nous donnons aux conducteurs se dissipent facilement lorsque nous les mettons en communication avec le sol. Il doit en être et il en est en réalité bien autrement pour l'électricité naturelle, ainsi que nous l'avons vu dans les conducteurs des paratonnerres que nous avons cités.

En outre, comme nous ne pouvons accumuler l'électricité que sur de petites surfaces dont nous voyons les limites, nous constaterons de suite l'excès de fluide que nous avons condensé sur ces surfaces, par rapport aux corps environnants. Il n'en serait pas ainsi si nous nous trouvions faire partie d'une grande surface dont les limites fussent très-éloignées de nous; il nous serait impossible de constater la présence du fluide, parce que nous ne verrions excès de condensation nulle part.

La surface terrestre représente ce conducteur très-vaste, et la lumière la source inépuisable d'électricité. Tous les corps de la surface terrestre éclairés et échauffés directement par les rayons du soleil seront électrisés plus ou moins selon leur différente nature, selon le différent état du ciel, selon leur forme ou leur élévation sur la surface terrestre. Si nous ne pouvons pas constater la présence de cette électricité, c'est par la raison que nous venons d'indiquer. Les signes électriques ne se manifesteront à nous que lorsqu'il y aura un excès notable entre deux endroits de l'atmosphère ou entre quelque point de l'atmosphère et de la surface terrestre.

En résumé, il n'y a pas de corps qui puisse se dire entièrement privé d'électricité, comme il n'en existe pas d'absolument obscurs ou d'absolument froids. Les corps doivent être donc considérés tous comme réellement électrisés et, par conséquent, exerçant toujours une action les uns sur les autres. Les phénomènes électriques ne commencent à se manifester que quand la tension prédomine quelque part. La terre et l'atmosphère sont constamment dans cet état; c'est-à-dire toujours électrisées et ressentant toujours l'action réciproque de leur fluide. L'équilibre électrique, en général, n'est pas un équilibre stable, mais une espèce d'équilibre mobile, semblable à celui qui

existe entre deux surfaces également éclairées ou également chaudes. Deux ou plusieurs corps à tension égale, qu'elle soit très-puissante ou qu'elle soit excessivement faible, ressentent toujours leur action réciproque, malgré l'insensibilité des électromètres, comme les surfaces en question s'envoient mutuellement de la chaleur et de la lumière, quoiqu'il ne nons soit pas permis de constater ces actions par aucun appareil thermométrique.

C'est ainsi que se comportent habituellement les divers points de l'atmosphère où de la surface terrestre que nous occupons. Nous n'y voyons aucun phénomène électrique, mais il n'en est pas moins vrai que l'électricité y existe, comme le prouvent les expériences et les faits que nous venons d'apporter.

Mais toutes ces actions, qui sont sans aucun résultat sensible pour des corps sitnés à de petites distances entre eux, ne peuvent pas l'être pour des objets plus ou moins éloignés les uns des autres. Nous avons vu les feuilles d'or de l'électromètre s'écarter en transportant celni-ci d'nn endroit à un autre ; les molécules de l'air doivent donc, à leur tour, ressentir cette action et être mises en mouvement, mouvement qui peut devenir, selon les circonstances, un véritable courant, soufflant tantôt avec la tension légère de la brise, se déchaînant tantôt avec la furie de l'ouragan. Nous étudierons ces circonstances dans un chapitre spécial.

---

## CHAPITRE VI.

### FAITS DIVERS.

En admettant que les corps possèdent, dans tous les cas, une quantité réelle d'électricité agissant toujours réellement, même lorsque nous n'apercevons aucun des phénomènes électriques ordinaires, nous croyons pouvoir nous rendre aisément compte de plusieurs phénomènes qui sont encore enveloppés de mystère ou qui n'ont pas encore reçu une explication satisfaisante.

I. — La propriété qu'a l'air sec de conserver l'électricité provient sans doute en grande partie de la nature de l'air lui-même, mais non pas exclusivement. Car, s'il en était ainsi, les corps négativement électrisés devraient conserver le signe négatif aussi longtemps que les corps positivement électrisés conservent le leur. Or, les expériences de Matteucci prouvent le contraire. Le signe positif se conserve à conditions égales beaucoup plus longtemps que l'autre. Donc, la conservation de l'électricité positive ne provient pas uniquement de la nature de l'air ; il faut nécessairement admettre une autre cause. D'après nous, cette cause serait précisément l'état électrique habituel ou l'excès réel de l'électricité dans tous les corps.

Cette électricité de l'air ambiant, réagissant sur le fluide de la machine électrique ou d'un conducteur isolé chargé comme la machine, empêche que ce fluide ne s'élance sur les corps environnants. Cette réaction est proportionnelle à la tension de la machine elle-même ; et la tension que celle-ci peut acquérir dans un air sec sera en raison de la quantité de fluide de l'air. Si un conducteur isolé est électrisé négativement, l'électricité de l'air agira en sens contraire. Au lieu de réagir sur le conducteur et empêcher l'écoulement, il tendra à se jeter sur lui, et l'équilibre sera bien plus tôt établi que dans l'autre cas, à parité de conditions.

II. — C'est par cette même raison que nous pouvons conserver une tension électrique dans le vide ordinaire. Répétons ici que dans le vide absolu tout phénomène électrique disparaît parce qu'ainsi quo nous l'avons déjà vu, la matière pondérable y est nécessaire. Comme dans le vide que nous pouvons obtenir par nos machines, il existe toujours de l'air ou do la matière pondérable, le fluide de celle-ci, réagissant sur celui que nous avions accumulé sur le conducteur placé dans le vide, l'empêche de se disperser. Or, comme les tensions que nous pouvons obtenir dans le vide ne peuvent être nullement comparées à celles qui peuvent exister dans un même espace rempli d'air sec, la tension électrique dans le vide est presque imperceptible.

Pour se rendre compte de ces tensions, on avait supposé que la mince couche d'air adhérant au corps ne s'en sépare même pas après que le vide a été fait autour d'eux. On a dit que cet air retenait l'électricité comme le ferait une couche de vernis à la gomme laque. Cette supposition n'est plus nécessaire; elle ne pourrait d'ailleurs être admise, car bien qu'il puisse être vrai qu'il existe sur tous les corps une couche d'air condensé qu'il n'est pas possible de faire disparaître dans les premiers instants de l'expérience, néanmoins, comme l'ont démontré MM. Bertrand et Jamin, il finit par s'en séparer dans la suite. Ces savants ont fait remarquer que lorsqu'on fait le vide avec une machine capable de raréfier l'air à un millimètre de pression, on voit au bout de quelques instants que la tension augmente : c'est l'air condensé sur lo corps qui reprend l'état libre, et l'on finit par fixer le baromètre à un millimètre en faisant agir la machine à plusieurs reprises différentes (1).

(1) Nous ne comprenons pas comment une couche d'air pourrait rester adhérente à un corps, dans le vide; car il faudrait supposer, entre le solide et le gaz, une attraction capable de détruire l'expansibilité de ce dernier. L'augmentation de tension qu'on observe dans le baromètre de la machine pneumatique doit être attribuée, croyons-nous, plus qu'à toute autre cause, à l'augmentation de la température. Lorsqu'on fait le vide, la température s'abaisse, la tension de l'air resté sous la cloche diminue, et la machine cesse de fonctionner lorsque la tension de cet air n'est plus capable d'ouvrir la soupape. Au bout de quelque temps, la température s'élève de nouveau, et, avec elle, la tension de l'air. Le baromètre indiquera, par conséquent, une tension plus forte. On pourra maintenant pousser le vide plus loin. Il

D'autres, voyant cette explication insuffisante, ont supposé que l'électricité était retenue dans le vide par une attraction exercée par les molécules matérielles de la surface sur l'électricité elle-même. Ils ont cru voir une analogie entre cette action et celle qui empêche la chaleur d'un corps de se disperser et de se répandre dans l'espace. Nous faisons remarquer que, d'après la nouvelle théorie que tôt ou tard les savants seront contraints d'embrasser, il ne doit plus être question d'attractions ou de répulsions réelles. Mais, quand même on voudrait s'en tenir aux anciennes théories, c'est-à-dire à la supposition que l'électricité exerce une attraction sur la matière (non la matière sur l'électricité), il faudrait ne pas oublier que ces théories supposent que les molécules du *fluide électrique* exercent une répulsion sur elles-mêmes et qu'elles tendent à se mettre partout en équilibre. Pourquoi les molécules du fluide ne se repousseraient-elles pas dans le vide, comme elles se repoussent dans l'air ? On sait que cette apparence de répulsion dans le vide (ordinaire) est plus forte que dans l'air. La tension électrique, dans le vide, n'est donc pas expliquée par une attraction du prétendu *fluide électrique* pour la matière pondérable.

Et, puisqu'on apporte la comparaison de la chaleur rayonnante, nous l'acceptons. Pourquoi un corps ne perd-il pas toute sa chaleur ? est-ce par quelque propriété particulière des molécules matérielles du corps pour la *chaleur* ? Les corps n'ont pas, sans doute, tous le même pouvoir rayonnant : j'admets que l'ébranlement moléculaire ou les vibrations des molécules constituant la chaleur diffèrent selon la différente nature des corps et selon leur différente constitution moléculaire, mais il est hors de doute que les corps se refroidiraient indéfiniment s'ils ne recevaient constamment de la chaleur des autres corps environnants. De même, un corps électrisé placé dans l'air ou dans le vide ordinaire retient son électricité par l'action de l'électricité du milieu et des corps environnants.

se fera, de nouveau, un refroidissement, mais, dans quelques instants, la température s'élevant de nouveau, il sera encore possible de raréfier l'air, surtout si on laisse la machine au soleil ou si on la transporte dans une chambre très-chaude. Voilà, ce nous semble, la vraie cause de toutes les alternatives qu'on observe lorsqu'on fait le vide.

Il est bien vrai que la quantité de chaleur que deux corps peuvent perdre, à conditions égales, varie, comme elle varie aussi pour un même corps lorsque la surface se trouve différemment modifiée ; nous convenons qu'il existe, par conséquent, une propriété inhérente à la nature des corps eux-mêmes et au degré de poli de la surface. C'est cette propriété particulière qui constitue le pouvoir émissif ; mais, sur ce point, il n'y a aucune analogie entre la chaleur et l'électricité. Dans toutes les expériences qui ont été faites dans le vide, sur les corps métalliques, on n'a pu remarquer aucune différence : l'électricité se comporte de la même manière sur tous. En outre, si une propriété analogue au pouvoir émissif existait, on devrait la remarquer mieux encore dans l'air ; rien de semblable n'a été encore observé. Lorsqu'on touche un corps conducteur isolé et électrisé avec un autre conducteur non électrisé, de différente nature que le premier, mais dans les mêmes conditions que lui, l'électricité se trouvera répandue également sur les deux et également partagée, et la tension sera parfaitement égale sur tous les points correspondants.

Si les corps conservent quelque tension dans le vide, ce n'est donc pas l'effet d'une propriété particulière des molécules de leur surface, semblable à celle qui constitue pour la chaleur le pouvoir émissif.

III. — Il est incontestable que partout où il y a action chimique, il existe aussi électricité ; mais on ne peut pas non plus, croyons-nous, mettre en doute la présence de l'électricité par le simple contact de deux métaux différents ou d'un métal et d'un liquide. Ce fait a été constaté par une foule de savants comme Volta, Marianini, Zamboni, Péclet, Ohm, Peltier, Pfaff, Fechner, Karsten, Buff et Becquerel. Je sais que des physiciens de grand nom comme MM. Faraday et de La Rive ont interprété les faits d'une manière différente. Moi-même je n'admets pas le développement réel par le simple contact ; le contact n'est qu'une simple occasion ; mais les explications de deux savants que je viens de nommer ne nous paraissent pas convaincantes. Nous ne pourrions pas entrer dans l'analyse de tous les faits observés ; cela nous obligerait à de longues digressions qui fatigueraient le lecteur et qui nous écarteraient inutilement de notre but. Nous indiquerons donc seulement les principaux.

Les premières expériences, tendant à démontrer l'existence de l'élec-

tricité dans le contact, sont dues à Volta. Il obtenait de l'électricité, soit en touchant deux disques isolés, l'un de zinc, l'autre de cuivre, ou en touchant l'un des deux plateaux d'un électromètre condensateur avec une main et l'autre avec une double lame de zinc et de cuivre. On a objecté que dans la première expérience l'électricité pouvait provenir du frottement ou de la pression. On a évité tout frottement, mais il était impossible d'éviter la pression, puisqu'il fallait nécessairement poser l'un des disques sur l'autre. C'est principalement pour éluder cette difficulté que Volta a eu recours à la seconde expérience. On a objecté que dans le contact du zinc ou du cuivre par les doigts, il se produisait une oxydation, une vraie action chimique ; on avait aussi attribué à cette même cause l'électricité qui se développait au contact des disques dans l'autre expérience ; on faisait intervenir pour cela l'humidité de l'air. Or, je dis que si l'action chimique était la cause de cette électricité, les signes électriques obtenus devraient être inverses.

En effet, le plateau ou la lame de zinc se trouve chargé positivement, tandis que ce métal devrait, par l'oxydation, se trouver électrisé négativement. M. de La Rive explique cette contradiction par une polarisation des molécules de la vapeur d'eau en contact avec le plateau de zinc par ce plateau lui-même. Dès que la communication est établie entre le zinc et le cuivre, le fluide négatif repoussé du zinc passe au cuivre, et le zinc se combine avec l'oxygène de l'eau décomposée, avec neutralisation de son électricité par celle de l'oxygène. Quant à l'électricité positive de l'hydrogène, comme elle ne peut s'échapper à travers l'air, mauvais conducteur, elle se porte sur le zinc, où elle est aussitôt dissimulée par le fluide négatif du cuivre. Voilà comment, d'après le savant physicien de Genève, le zinc se trouve chargé d'électricité positive.

Nous répondrons d'abord qu'on ne comprend pas pourquoi l'oxygène et l'hydrogène de l'eau, qui sont, l'un positivement, l'autre négativement électrisés, iraient sur le zinc ; l'air est mauvais conducteur, il est vrai, mais lorsque le zinc est en contact avec le plateau de cuivre, l'électricité de l'hydrogène devrait passer sur ce métal, le zinc devrait se trouver toujours électrisé négativement.

Nous ajoutons, en outre, que la polarisation moléculaire, bien

qu'elle ait été proposée par un des plus grands génies de la science, n'a jamais été admise par les savants, par la bonne raison qu'il n'est pas croyable qu'une même molécule d'air soit électrisée positivement d'un côté, négativement de l'autre; aucun fait ne l'a directement prouvé.

Nous admettons avec Faraday, Matteucci et M. de La Rive que l'électrisation par influence se fait par les molécules du milieu, mais il ne s'ensuit pas que chaque molécule soit polarisée. On a trop abusé du mot *polarisation*, et si les physiciens ne l'ont pas accepté par le passé pour l'explication des phénomènes électriques, ils sont moins disposés à l'admettre, aujourd'hui où il ne doit plus être question ni de fluide neutre, ni de fluide négatif.

En troisième lieu, en supposant la polarisation possible, comment le plateau de zinc polariserait-il les molécules de vapeur d'eau en contact avec lui? Péclet, Pfaff et Fechner ont démontré, par des expériences faites dans l'air desséché, dans le vide et avec des plateaux vernis, que l'électricité qui se manifeste au contact n'est ni l'effet de l'humidité de l'air, ni de l'action chimique. Nous croyons ces expériences bien faites; mais comme M. de La Rive ne les accepte pas, nous n'en parlerons pas du tout. Mais puisque l'action chimique est la cause de l'électricité qui se manifeste au contact, comment, avant l'action chimique elle-même, le plateau de zinc occasionnerait-il une polarisation, s'il n'était pas électrisé? Le savant auteur le suppose donc, sans s'en douter, électrisé avant toute action chimique. C'est qu'il en est réellement ainsi. Il faut nécessairement admettre, avant l'oxydation du zinc, l'existence d'une tension électrique dans ce métal, capable de décomposer l'eau, sans quoi il n'est pas aisé de comprendre comment l'oxygène se dégage de sa combinaison pour en former une nouvelle. Nous reviendrons plus loin sur cette question.

Faraday a constaté qu'il n'y a pas électricité lorsque l'action chimique manque. Ceci peut être vrai pour deux corps de la même nature, mais non pas pour des corps de nature différente, du moins dans la généralité. Deux corps de même nature, se trouvant dans les mêmes conditions, sont, d'après nous, également électrisés; voilà pourquoi ils ne présenteront aucun phénomène électrique. Il peut se faire que deux corps de différente nature se trouvent aussi dans les

mêmes conditions et qu'ils soient, eux aussi, électrisés à un degré égal ; ils se comporteront alors comme deux corps de même nature.

J'ai dit que l'absence d'électricité n'est pas un fait général pour tous les corps entre lesquels l'action chimique n'a pas lieu ; en effet, Peltier a trouvé que deux plateaux, l'un en platine, l'autre en or, réunis en condensateur, se chargeaient d'électricité en les mettant en communication à l'aide d'un fil de platine isolé ; le platine se trouvait électrisé négativement. M. de La Rive attribue cette électricité négative du platine à l'action de l'air sur ce métal. Mais de quelle façon agit l'air sur le platine ? La seule raison, croyons-nous, qui a déterminé M. de La Rive à faire cette supposition, c'est qu'ayant couvert le platine d'une couche de vernis de plus en plus épaisse, il a reconnu que la charge allait en diminuant. Mais si nous ne nous trompons, cette expérience tendrait à prouver le contraire. En effet, une fois que le platine a été couvert d'une couche de vernis, même très-mince, il se trouve, par là même, soustrait à l'humidité de l'air ; par conséquent l'action de l'air sur le platine ne pourrait être invoquée comme cause de l'électricité qui se manifeste encore entre les deux disques, après que le platine a été couvert de plusieurs couches de vernis. Il n'est donc pas étonnant que lorsqu'on donne au vernis une certaine épaisseur, l'électricité diminue, car alors le plateau en or se trouve en contact avec un corps mauvais conducteur.

On sait que l'or, le platine, l'argent, mis en communication avec des liquides acides sans action sur eux, ont donné des signes d'électricité positive. Ces mêmes métaux, en contact avec de l'huile d'olive ou de l'huile de naphte, se sont montrés électrisés négativement. Nous pourrions citer d'autres exemples, mais nous croyons inutile de nous étendre davantage sur cette question.

Il nous semble que la manifestation de l'électricité, à l'occasion du contact de deux corps de nature différente, ne peut être mise en doute. Le point controversé n'est pas sur le fait lui-même, mais sur l'origine de cette électricité. Nous ne croyons pas qu'elle soit produite par le contact, on a vu qu'on ne pourrait non plus l'attribuer ni à l'humidité de l'air, ni à l'action de l'air lui-même. Pour nous, cette électricité *existait avant tout contact*, en dehors de toute action de l'air ou de vapeurs d'eau, *avant toute action chimique, avant*

*toute autre cause capable d'agir directement ou indirectement sur les métaux.* Ce que nous allons ajouter rendra plus intelligible notre manière de voir et finira peut-être par dissiper tous les doutes.

IV. — Nous disions plus haut qu'il existe de l'électricité partout où il se développe une action chimique, et réciproquement. Mais est-ce l'action chimique qui fait naître l'électricité, ou bien est-ce l'électricité qui donne lieu à l'action chimique? Si vous n'admettez pas une tension électriquo préexistante, quelle qne soit l'opinion que vous embrassiez, vous trouverez de graves difficultés qui vous empêcheront de vous rendre compte de ce double phénomène.

Si vous dites que l'action chimique est un effet du courant, d'où vient-il, ce courant? pourquoi et comment se développe-t-il? Si vous affirmez que le courant naît de l'action chimiqno, vons serez fort embarrassé pour vous rendre compte de l'action chimique elle-même; car il n'est pas aisé de comprendre par quelle cause cette action chimique est engendrée. Si, au contraire, vous snpposez les corps électrisés tons ot chacun selon qne le comporte leur nature et selon les circonstances, le conrant et l'action chimique s'expliquent sans trop de peine; car cette électricité préexistante doit nécessairement subir une modification, non senlement par le contact, mais aussi par le simple rapprochement do deux corps de différente naturo.

En effet, si la tension statique n'est autre chose que le monvement de l'éther dans la matière pondérable, ainsi que nous l'avons déjà expliqué ailleurs, il nous paraît évidont que lorsqu'un corps sera plongé dans un liquide conducteur, il lui transmettra ses vibrations. *C'est à ces vibrations que nous attribuons la première décomposition de l'eau dans la pile.* Sans doute, la décomposition de l'eau est aussi l'effet d'une action chimique, puisque par un courant déjà établi nous pouvons décomposer un liquido conducteur en y introduisant les deux réophores. Mais nous entendons parler de la décomposition qui précède l'action chimique, car il ne faut pas oublier que dans la pile, ontre la décomposition du liquide, il existe aussi une réaction des éléments de celui-ci sur l'un des éléments de la pile. Il est incontestable que la décomposition du liquide est antérieure à la réaction de ces éléments sur l'un des métaux. D'après nous, le liquido est d'abord décomposé par les vibrations moléculaires de l'un des mé-

taux, et c'est là dans ce métal que naît le courant; c'est de là que partira l'élément du liquide qui donnera lieu à l'action chimique.

Analysons ce qui se passe dans une pile. Prenons, par exemple, un couple Bunzen. On est habitué à considérer le zinc comme l'élément négatif. Or, même d'après les lois actuellement admises sur le dégagement de l'électricité dans les actions chimiques, le zinc n'est négatif que du moment où l'acide a commencé à réagir sur le métal, mais il n'en est pas ainsi au premier instant du contact du métal avec l'eau acidulée.

On admet que dans les combinaisons d'un acide avec une base, c'est la base qui prend le signe négatif, l'acide le signe positif; mais on admet aussi que dans les décompositions les effets sont inverses. Dans la décomposition d'un sel, c'est le principe acidifiable qui prend le signe négatif, la base le signe positif; ainsi, dans la décomposition de l'eau, c'est de même l'oxygène qui se trouve électrisé négativement. Or, le premier phénomène qui se passe dans la pile, ce n'est pas une combinaison, mais une décomposition, la décomposition de l'eau. L'oxygène se porte sur le zinc et l'oxyde; ce n'est qu'après cette oxydation que commence la combinaison de l'acide avec la base (oxyde de zinc), car le sel ne résulte pas de la combinaison immédiate de l'acide avec le métal, mais de l'acide avec le métal oxydé. Si vous n'admettez pas un état électrique préalable, une quantité d'électricité, une tension électrique *préexistante* dans chacun des corps qui composent la pile, et prédominante sur l'un d'eux, vous serait-il possible de comprendre comment se fait, avant tout, la décomposition de l'eau? Si vous supposez, au contraire, que les deux éléments du couple, le zinc et le charbon, sont naturellement électrisés, mais le premier plus que le second, leur présence dans l'eau électrolysée suffit pour vous rendre compte de sa décomposition. Les autres phénomènes de la pile ne présentent plus de grandes difficultés.

L'électricité statique du zinc, avons-nous dit, décompose l'eau. Comme dans toutes les décompositions, il doit de même ici en résulter un courant électrique. D'après nous, ce courant provient, ou plutôt *ce courant est lui-même une transformation ou conversion de l'affinité chimique qui retenait en combinaison les molécules de l'hydrogène et de l'oxygène de l'eau.* En effet, l'affinité ou la force

qui tenait réunies ces molécules n'étant pas annihilée, elle doit exister dans le liquide sous une autre forme. Or, bien qu'il ne soit pas aisé de constater ce courant, vu qu'il se confond avec l'autre, qui résulte de l'action directe de l'acide sur la base, nous ne sommes pas pour cela moins certains de son existence, puisque nous sommes témoins d'une nouvelle affinité qui surgit entre l'oxygène et le zinc, avant l'action de l'acide. Nous avons donc tout droit d'attribuer ces phénomènes à une conversion de la première affinité qui reliait ensemble les deux gaz maintenant séparés.

Jusqu'à présent, que je sache, on n'a pas envisagé les choses de la sorte. Dans la théorie chimique de la pile, on a bien parlé do la décomposition de l'eau, mais le plus grand nombre de physiciens ont regardé cette décomposition comme le résultat de la combinaison entre l'acide et le zinc; c'est-à-dire qu'ils sont partis de cette action chimique et ils n'ont considéré que le courant qui en résulte, sans faire presque aucun cas do l'autre courant qui précède et qui naît de la décomposition de l'eau. Si on l'a indiqué, c'est uniquement pour constater qu'il y existait, mais on n'a fait connaître ni le rôle véritable qu'il joue, ni la place qu'il occupe dans l'ordre des phénomènes qui se succèdent, car il y a *succession*, non simultanéité, et nous avons déjà fait voir que l'eau doit être décomposée la première. Quelques-uns ont dit, il est vrai, que le courant est dû à la décomposition de l'eau; mais de quelle décomposition de l'eau ont-ils voulu parler? évidemment de celle qui se révèle au moment de l'action do l'acide sur le métal *oxydé*. En disant *le courant*, on le voit, ils n'ont eu en vue que celui qui est produit par cette action chimique, et nullement l'autre courant, qui la précède et qui la détermine par l'oxydation du métal. Bref, on n'a encore ni indiqué l'ordre de succession des phénomènes do la pile, ni formulé nettement quel est le premier de ces phénomènes, ni, encore moins, signalé la vraie cause qui le fait naître.

Voici, d'après nous, toute la série des phénomènes. Les liquides de la pile, le charbon et le zinc, ont tous leur électricité propre; elle prédomine sur ce dernier. Le zinc est tout d'abord l'élément *positif*. Tous ces corps se transmettent les vibrations de leurs propres molécules; mais comme l'intensité de celles du zinc prédomine, ces vibrations, transmises aux molécules du liquide immédiatement en con-

tact avec lui, déterminent la dissociation des deux éléments constituants de l'eau. L'oxygène, qui est négatif, s'unit au métal et il l'oxyde, ce qui ne pourrait avoir lieu si le métal était lui aussi négatif. Il est donc tout d'abord, comme je le disais, *positif;* mais par l'effet de cette combinaison, le zinc cesse de jouer ce rôle, et devient négatif. L'hydrogène, qui est positif, se met en mouvement dans le liquide en direction du charbon, parce que celui-ci, se trouvant en contact avec le zinc, devient *négatif* comme lui. Voilà le premier courant, tout-à-fait distinct de l'autre, qui résultera tout-à-l'heure de la combinaison de l'acide avec le métal oxydé.

Quelle est maintenant l'origine de ce second courant? Nous avons dit que le premier, ainsi que la combinaison du zinc avec l'oxygène, est une transformation de l'affinité qui existait entre les éléments de l'eau ; nous inclinons à croire que le second est aussi une transformation de l'affinité qui existait entre l'acide et l'eau qui vient d'être décomposée. Si vous jetez quelques gouttes d'eau dans de l'acide sulfurique concentré, ou même dans de l'acide sulfurique ordinaire, la température s'élève rapidement, et si puissamment, que l'eau peut être en quelques instants convertie à l'état de vapeur et l'acide projeté au loin. C'est qu'entre l'acide et l'eau s'est développée une affinité puissante. A l'instant donc de la dissociation des deux gaz de l'eau, l'affinité chimique qui les retenait en combinaison avec des molécules de l'acide, cessant d'exister sous cette forme, doit nécessairement exister sous une autre. Pour nous, la combinaison de l'acide avec le zinc et le courant énergique qui en résulte sont l'effet immédiat de l'affinité chimique de l'acide pour l'eau, ou plutôt c'est l'affinité chimique sous une autre forme.

Le premier courant est faible, parce que l'affinité réciproque des deux gaz de l'eau est aussi, comme on le sait, faible (1); le second

(1) Je dis *faible*, parce que, bien que l'affinité de l'oxygène pour l'hydrogène soit plus forte que celle des trois autres métalloïdes de la même famille pour ce dernier corps ; néanmoins, les deux gaz ne peuvent entrer en combinaison qu'à l'aide d'une étincelle électrique ou d'une température élevée, et, une fois combinés, on les dissocie facilement par un faible courant électrique, pourvu que l'eau soit électrolysée. Je dis que l'affinité des deux gaz est *faible*, surtout par rapport à celle de l'acide pour l'eau, qui se fait à froid et avec dégagement considérable de chaleur.

est énergique, parce que l'affinité entre l'acide et l'eau est énergique.

Puisque nous avons si au long parlé des phénomènes de la pile, achevons-en l'analyse. Le lecteur voudra bien nous permettre de nous éloigner un instant de notre but. Nous ne serons pas long.

Les deux courants, dans l'intérieur de la pile, sont dirigés du zinc au charbon. On dit que le zinc est l'élément négatif, et le charbon l'élément positif. Nous allons voir s'il en est vraiment ainsi.

D'abord, comment se comportent le charbon, le cuivre et le platine dans les piles de Bunzen, de Daniel et de Grove? Ils ne sont, à proprement parler, que des conducteurs, ils ne font que laisser passer l'électricité, voilà tout. Cela est si vrai qu'il faut plonger ces métaux dans des solutions acides qui ne les attaquent pas. En général, le second élément de la pile fonctionne d'autant mieux qu'il ne se fait sur lui aucune réaction. Pourquoi donc appellerons-nous les métaux que nous venons de nommer des éléments positifs? Est-ce parce que le courant est dirigé vers eux dans l'intérieur de la pile? Mais cela ne prouve-t-il pas plutôt qu'ils sont négatifs? Sans doute, le réophore fixé sur le charbon, sur le cuivre, sur le platine, sera le réophore positif, celui fixé sur le zinc sera le négatif, parce que le courant rentre dans ce dernier en sortant du premier; mais il n'y a aucune raison de regarder le platine, le cuivre et le charbon comme positifs.

Allons à l'origine des courants. Le premier naît sur le zinc, qui, à ce moment, est *positif;* le courant va de lui au charbon, c'est donc le charbon qui serait *négatif.* D'ailleurs, comment l'hydrogène positif se dirigerait-il vers le charbon, s'il était électrisé au même degré que lui? Si au contraire il l'était plus que lui, ce gaz se montrerait négatif, ce qui n'est pas. Ainsi donc, par l'effet du premier courant, le charbon devrait être regardé comme *négatif*: il devrait l'être aussi par l'effet du second. Le zinc, *positif* d'abord par la combinaison de l'oxygène, qui est le corps le plus négatif que nous connaissons, a cessé de jouer ce rôle; mais il devient de nouveau *positif* au premier instant de la nouvelle combinaison avec l'acide. En effet, l'acide et la base ne peuvent pas être également électrisés; il n'en résulterait dans ce cas aucune combinaison, mais nous avons vu que le zinc est devenu négatif par

sa combinaison avec l'oxygène; donc l'acide sulfurique doit être positif; donc le métal, en se combinant avec lui, doit redevenir positif.

Je connais les lois établies par M. Becquerel sur le dégagement de l'électricité. Une de ces lois dit que *quand un acide agit chimiquement sur un métal, l'acide s'électrise positivement, le métal négativement.* Voilà la vraie raison qui fait considérer le zinc comme négatif; il n'y en a pas d'autre. Mais premièrement cette loi n'est pas vraie dans sa généralité, puisqu'il y a plusieurs cas où le métal qui se combine avec un acide se montre électrisé positivement. Si l'on plonge une lame de cuivre dans un vase de terre poreuse, contenant de l'eau acidulée à l'acide sulfurique, et qu'on plonge le diaphragme dans un récipient d'eau salée, dans lequel se trouve un fil de fer, on trouve le cuivre électrisé positivement, l'eau acidulée négativement.

En second lieu, quand même la loi serait vraie, les signes qu'on obtient n'indiquent pas l'état des métaux, mais seulement la direction du courant. Quel est le rôle du liquide quel qu'il soit? Il fait simplement, comme le charbon, l'office de conducteur (1). Plongez dans le liquide un fil de platine, attachez-en un autre au zinc, et mettez ces fils en communication avec le galvanomètre; l'aiguille vous indiquera le sens du courant. Dans le cas du zinc et du charbon, l'aiguille du rhéomètre vous dira que le courant va du zinc au liquide; dans le cas du cuivre et du fer, il vous dira que le courant est dirigé du liquide au cuivre. Il me semble que puisque tant le premier courant naissant de la décomposition de l'eau, que le second produit, au moment de la réaction de l'acide sur le zinc, sont dirigés vers le charbon, celui-ci doit être regardé comme élément *négatif*, autrement on ne comprend pas pourquoi les courants marchent vers lui.

Disons plutôt, et nous serons plus dans le vrai, que lorsque le circuit est fermé, il n'y a plus ni pôles, ni élément négatif, mais dégagement continu d'électricité sur l'élément sur lequel se fait l'action

(1) Je n'entends point parler de la partie du liquide immédiatement en contact avec le zinc et qui se combine avec lui (car c'est dans cette partie du liquide que naît le courant à l'instant de la combinaison avec le métal). J'entends parler des autres molécules du liquide, tant qu'elles n'entrent pas en combinaison.



chimique et circulation de cette électricité dans une seule direction. Ce métal dans les piles de Volta, de Daniel, de Bunzen, de Grove, etc., est précisément le zinc. Est-il permis de le regarder comme négatif? La loi de M. Becquerel énoncée plus haut ne saurait plus subsister. S'il était permis d'en établir une autre, il suffirait de formuler la proposition contraire; c'est-à-dire, *quand un acide agit chimiquement sur un métal, celui-ci s'électrise positivement, l'acide négativement.*

Mais, non : dans le circuit d'une pile, toutes les parties, éléments, liquides, rhéophores sont dans un état *positif.* Si l'on ouvre le circuit, comme l'électricité tend à circuler d'un seul côté, seulement alors le rhéophore qui se trouve de ce côté paraîtra positif, et il l'est réellement, tandis que l'autre présentera le signe négatif; mais cet état de choses cesse à l'instant de la fermeture du circuit. Dans la pile de Bunzen, par exemple, le courant marche du zinc aux liquides : un rhéophore qui plongerait dans l'un ou l'autre de ces liquides présenterait le signe positif, tandis que le rhéophore soudé au zinc donne le signe négatif, bien que toute la partie de ce métal plongée dans le liquide soit chargée d'électricité comme le liquide lui-même. Ces signes donc, répétons-le, n'expriment pas l'état électrique des éléments. Nous nous proposons de traiter plus au long les phénomènes des piles dans un travail spécial. Revenons à notre sujet.

V. — Les actions chimiques entre les corps simples ne peuvent être expliquées sans supposer une électricité propre à chacun des corps. Dans cette supposition, l'affinité aurait un sens, tandis que maintenant elle n'en a aucun. Qu'est-ce que l'affinité? Nous donnons une définition plus ou moins bonne; mais au fond la définition ne nous apprend rien sur la nature de cette force.

Quelles notions avons-nous sur la force *catalytique?* Aucune. Que fait, par exemple, la mousse de platine en présence de l'alcool? Comment se comporte-t-elle pour convertir ce liquide en acide acétique? Si je suppose que les corps sont tous relativement électrisés, les affinités chimiques seraient expliquées par les vibrations réciproques des molécules des corps eux-mêmes, et la force catalytique cesserait d'être un mystère.

VI. — Il existe un grand nombre de faits curieux qui paraissent

dus à cette électricité libre dont nous avons jusqu'ici parlé. Nous en apporterons quelques-uns des moins connus. On connaissait depuis longtemps que lorsque l'on trace des figures quelconques sur un verre avec une pointe de bois ou de n'importe quelle matière, sans cependant en rayer la surface, ces figures, invisibles par elles-mêmes, deviennent visibles à l'instant, si on y projette légèrement son haleine. Mozer a démontré qu'on peut obtenir le même résultat sur toute autre surface polie.

Si l'on place une carte découpée sur une surface polie, et qu'on y souffle son haleine jusqu'à la ternir dans les parties découvertes, le dessin formé par la découpure apparaîtra encore. Lorsqu'on enlève la découpure et qu'on souffle de nouveau sur toute la surface, le dessin qui avait disparu apparaît de nouveau. Sur le verre, ces images peuvent être visibles pendant plusieurs jours de suite ; voici comment je répète l'expérience : je projette d'abord mon haleine sur toute la surface; lorsque celle-ci est ternie, je trace, avec la pointe d'un couteau en bois, en ivoire ou en autre matière, une figure quelconque ; elle disparait au bout de quelques secondes, je ternis de la même façon la surface, et j'y découvre la figure parfaitement nette. La même image peut se reproduire à peu près avec la même netteté plusieurs centaines de fois. J'ai trouvé une fois l'image très-distincte sur une lame de verre quinze jours après que l'impression avait été faite, et malgré une mince couche de poussière qui s'y était déposée.

Mozer a observé, peut-être le premier, que les objets placés sur un verre y laissent leur image. Il prenait une médaille ou un bas-relief qu'il déposait sur le verre ; au bout de quelques instants, l'image était visible. A la vérité, pour qu'elle soit visible, il faut l'y laisser pendant un temps assez long ; mais elle devient facilement visible par l'haleine. Les dessins se reproduisent aussi sur une lame d'argent bien polie; mais, pour les voir, il est nécessaire d'exposer la lame elle-même pendant quelques secondes aux vapeurs de mercure. Le phénomène a lieu aussi sur une plaque de cuivre, mais l'image n'est rendue visible que par les vapeurs d'iode.

Mozer a remarqué que deux objets placés vis-à-vis l'un de l'autre, dans un endroit parfaitement obscur, se transmettent réciproquement



leur image ; cette image apparaît parfois naturellement au bout de dix à quinze minutes. Le phénomène se reproduit souvent sur les boîtiers des montres : les lettres et les chiffres gravés sur l'extérieur de la calotte qui couvre immédiatement le rouage, laissent leur image renversée sur le fond du boîtier. (*Comptes-Rendus,* tome 15, pages 119, 855, 1201.)

D'après nous, ces phénomènes sont produits par l'électricité libre de la surface des corps. Premièrement, on a remarqué qu'ils réussissent mieux lorsqu'on fait agir la lumière solaire, source, d'après nous, de l'électricité terrestre et atmosphérique. En second lieu, ces images s'obtiennent plus facilement par des décharges électriques : c'est Karsten qui les a obtenues le premier par ce moyen. Il déposait une médaille sur une lame de verre, laquelle reposait sur une plaque métallique ; il faisait ensuite jaillir une étincelle sur la médaille, et, pour faire paraître l'image, il suffisait de ternir la plaque avec l'haleine. Ce qu'il y a de plus surprenant encore, c'est que l'image se reproduit sur plusieurs verres à la fois ; il suffit de les poser les uns sur les autres, et de placer la médaille sur le premier. L'image se forme sur les faces tournées vers la médaille, mais elles sont d'autant plus nettes que la lame est moins éloignée de la médaille elle-même.

Notre manière de voir est d'accord avec l'explication que M. Fizeau donne de ces phénomènes ; il a démontré que les images proviennent d'un transport de matières grasses existant à la surface des corps. Ce transport n'est nullement explicable sans la supposition d'une force moléculaire agissant à la surface des corps ; l'explication que Knorr en donne ne nous paraît pas juste. Il rendait visibles les images en chauffant les plaques sur lesquelles l'impression avait été produite ; pour cette seule raison, il a attribué l'image à une irradiation calorifique. Mais pourquoi la radiation calorifique se comporte-t-elle différemment sur les diverses parties de la plaque, qui sont pourtant également exposées à l'action de la chaleur, ou, en d'autres termes, également échauffées sur tous ses points? Il me semble que si la chaleur fait paraître l'image, c'est parce que la surface de la plaque avait été précédemment modifiée par une action distincte de l'action calorifique. C'est la première qui produit l'impression, la

chalour ne fait peut-être que simplement oxyder, mais d'une manière différente, la superficie impressionnée.

L'explication que Mozer en donne ne nous paraît pas admissible non plus. D'après lui, les impressions sont l'effet de radiations obscures; nous sommes convaincus de l'existence de ces irradiations, mais nous ne comprenons pas comment ces rayons invisibles, d'une faible intensité, modifient si profondément la surface des corps. Les figures obtenues par Karsten seraient sans explication, car elles sont produites presqu'instantanément par une étincelle électrique; en outre, M. Fizeau, qui a indiqué les conditions nécessaires pour la réussite du phénomène, dit que celui-ci peut complétement manquer, malgré une insolation prolongée de la plaque. Le phénomène n'est donc pas l'effet d'une irradiation lumineuse; d'après M. Fizeau, les surfaces les plus polies et les plus propres sont recouvertes d'une couche très-mince de matières organiques invisibles qui s'y sont déposées pendant l'insolation ou pendant l'expérience; si l'on nettoie bien la plaque, et si on empêche la formation d'une nouvelle couche de matière organique, le phénomène n'a pas lieu. (*Comptes-Rendus*, volume XVI, page 397, volume XX, page 896.)

Bixio et M. l'abbé Zantedeschi après lui ont supposé que les images de Mozer provenaient d'une volatilisation de la matière du dessin; mais comment supposer que, dans un temps très-court, puisse se volatiliser assez de matière pour produire une image, surtout lorsque la substance du dessin ou du bas-relief est métallique et plus ou moins dure? Nous n'entendons pas nier l'existence d'une volatilisation réelle à la surface de tous les corps, mais elle est pour les solides, et pour quelques-uns surtout, excessivement lente, et rien ne nous autorise à lui attribuer le phénomène en question. Nous avons déjà vu que Knorr rendait visibles les images, en faisant chauffer les plaques sur lesquelles avait été produite l'impression; si l'on admet une volatilisation aussi sensible que l'ont supposée les savants auteurs, l'image par la nouvelle volatilisation produite par la chaleur aurait dû s'effacer. Nous avons vu aussi que Karsten obtenait l'image sur plusieurs verres à la fois, à l'aide d'une simple étincelle électrique. Comment raisonnablement supposer un transport de la matière du modèle dans les plaques intermédiaires?

Voici comment nous expliquons ces phénomènes : en supposant que tous les corps sont naturellement plus ou moins électrisés, si vous venez à tracer sur la surface d'nn de ces corps nne figure quelconque, vous modifierez plus ou moins la structure moléculaire de la surface et des couches immédiates ; il en résultera nécessairement une modification dans les vibrations des molécules. Si maintenant vous déposez un modèle quelconque sur une surface plane, les vibrations du modèle se transmettant à la surface plane, au bout de quelque temps, il en résultera sur celle-ci une modification représentant les formes du modèle, modification qui, le plus souvent, ne sera pas visible, mais qu'on pourra rendre visible, soit par des moyens capables d'augmenter l'intensité de ces mêmes vibrations, soit en exposant les surfaces déjà impressionnées aux vapeurs de différents corps. Voilà ponrquoi on a pu rendre visibles les images à l'aide d'étincelles électriques, ou à l'aide de l'haleine on des vapeurs d'iode ou de mercure.

Nous pourrions indiquer ici plusieurs autres phénomènes qui ont une explication toute simple et toute naturelle dans l'existence d'un état électrique préalable et permanent sur les corps ; mais la longueur de ce chapitre nous oblige à nous arrêter anx faits dont nous venons de parler.

## CHAPITRE VII.

### DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES A CIEL SEREIN.

Nous aurions voulu commencer par nous rendre compte de la manière dont l'électricité est disposée à la surface de la terre, mais il nous a semblé plus naturel d'examiner d'abord comment elle se comporte dans l'atmosphère. Nous commencerons par les phenomènes électriques à ciel serein.

Nous avons dit que le ciel, lorsqu'il est assez pur, est toujours électrisé positivement ; examinons avant tout l'intensité de ce signe. La tension électrique varie dans les différentes heures du jour plus ou moins régulièrement ; très-souvent la régularité est sensible, mais bien des fois aussi elle disparaît ou elle n'est presque pas appréciable. Parfois, la régularité dans l'augmentation ou dans la diminution se conserve pendant quelques heures, et tout à coup elle subit une modification plus ou moins forte. Autant l'existence de la période est certaine, autant nous sont, jusqu'ici, inconnues les causes de ces variations; et il n'a pas été encore possible non plus d'assigner une cause satisfaisante de la période, ni de fixer avec quelque précision les heures des *maxima* et des *minima* de la période elle-même.

Les météorologistes sont si loin d'être d'accord sur les heures, que quelques-uns ont assigné un maximum là où d'autres ont fixé un minimum ; celui-ci a observé deux *maxima* et deux *minima*, celui-là affirme de n'en avoir vu qu'un seul.

Schübler à Stuttgard a trouvé un maximum quelques heures après le lever du soleil, un second, après ou vers le coucher de l'astre ; un premier minimum quelques heures avant le lever, un autre à deux heures environ de l'après-midi.

M. Quetelet, à Bruxelles, a trouvé le premier maximum à dix

heures du matin pendant l'hiver, à huit heures pendant l'été; le second à dix henres de l'après-midi dans l'hiver, à neuf heures pendant l'été. Il a fixé le minimum du jour à une heure en hiver, à trois heures en été.

Saussure, sur les Alpes, avait trouvé un premier maximum quelques instants après midi, un second dans la soirée après la chute de la rosée. Dans les jours où l'atmosphère était très-pure, il trouvait la période renversée. Le maximum, pendant l'été, arrivait vers trois ou quatre heures de l'après-midi, et, pendant l'hiver, l'un des deux minima se présentait après la chute de la rosée, l'autre au moment du lever du soleil. Il assure qu'en été la période était à peine sensible, et plus souvent encore changée, tellement qu'il a trouvé le maximum dans des heures où il aurait dû trouver le minimum.

M. Palmiéri, à Naples, à l'observatoire du Vésuve, a aussi trouvé deux maxima, mais aucun dans la matinée. Le premier correspond à deux heures et demie ou environ, l'autre un peu avant le coucher du soleil; le second maximum manque parfois ou il est peu sensible, et il ne se présente pas à la même heure. Quant aux minima, il dit ne pas avoir pu déterminer le second, parce que son électromètre marquait zéro depuis trois heures de l'après-midi jusqu'à l'aube; quant au premier, il n'en parle même pas. Il est vrai que les expériences de M. Palmiéri sont de cinquante jours seulement, et elles ont été faites pendant l'été, aux mois d'août, de septembre et d'octobre (1853); malgré cela, nous croyons leur résultat digne de figurer ici à côté de ceux qui ont été obtenus par un nombre plus considérable d'observations.

Le P. Secchi, plus récemment, a trouvé à Rome, dans les mois chauds, deux maxima et deux minima diurnes principaux, et un troisième *accidentel, mais non permanent*. Les deux maxima constants ont lieu dans les mois de septembre et d'octobre, entre neuf et dix heures du matin et entre six et sept heures du soir. Souvent il a rencontré une diminution de tension après dix heures, et une augmentation deux ou trois heures plus tard, c'est-à-dire entre midi et une heure. Dans ces jours-là, un second abaissement avait lieu entre trois ou quatre heures de l'après-midi, et le second maximum dé-

finitif arrivait ensuite. Le troisième maximum, qu'il appelle maximum secondaire, se présente très-nettement dans les jours chauds et très-beaux. Dans les mois froids, il a trouvé un maximum à peine sensible vers neuf heures du matin, et une faible diminution ensuite qui se maintient invariable jusqu'au soir. C'est entre six et sept heures, comme dans les jours chauds, que se manifeste le second maximum du soir.

Kaemtz affirme que les résultats obtenus par lui à Halle, en Saxe, paraissent différer des résultats obtenus dans l'Allemagne méridionale. Les observations faites sur les Alpes paraissent prouver qu'il n'y a qu'un minimum le matin et un maximum le soir.

Les causes de cette grande différence de la période électrique sont nombreuses; plusieurs sont connues, d'autres sont encore ignorées. Nous signalerons les unes et les autres.

Une de ces causes est l'état hygrométrique de l'air dans le lieu de l'observation; lorsque l'air contient assez de vapeurs pour devenir assez bon conducteur, l'électromètre restera insensible, bien que l'air soit très-électrisé. Dans ces cas de grande humidité, le conducteur de l'électromètre, qu'il soit fixe ou qu'il soit mobile, ne s'électrisera ni par contact, ni par influence. Il ne s'électrisera pas par contact, parce que l'électricité venant aux couches d'air où se trouve l'appareil au lieu de se jeter sur lui, il choisira de préférence l'air devenu presque aussi conducteur que le métal, et qui lui permet, en outre, de s'écouler jusqu'à la surface terrestre. Il ne s'électrisera pas par influence, parce qu'il ne peut y avoir influence entre les diverses parties d'un conducteur. L'air qui se trouve en contact avec la tige de l'électromètre ne forme, pour ainsi dire, qu'un seul et même conducteur avec l'air des couches supérieures.

Le P. Beccaria, des Ecoles-Pies, qui s'est presque exclusivement occupé d'étudier les phénomènes électriques de l'atmosphère et de la surface terrestre, avait, il y a un siècle, indiqué cette cause. L'humidité pouvant varier d'un moment à l'autre, la période peut subir une altération.

Si, au contraire, l'air est très-sec, il se comportera de la même façon que la lame de verre entre les plateaux du condensateur, laquelle dissimule d'autant moins l'électricité qu'elle est plus épaisse.

Il s'ensuit que dans les jours humides on trouve peu d'électricité, et dans les jours très-secs moins que quand l'atmosphère, sans être humide, contient cependant assez de vapeur pour permettre au fluide le mouvement longitudinal. Dans les jours très-secs, les indications électrométriques sont des phénomènes d'influence plutôt que des phénomènes de contact. Dans l'autre cas, les indications sont plus intenses, parce qu'outre l'électricité d'influence, l'appareil reçoit réellement une partie de l'électricité que possède la couche atmosphérique où le conducteur se trouve. Voilà pourquoi, dans les plus beaux jours, les électromètres à conducteur fixe peuvent rester pendant plusieurs heures immobiles, tandis que dans les jours où l'air est moins sec, ils donnent des indications sensibles. Ici le phénomène est dû à l'électricité de contact, c'est-à-dire à de l'électricité qui vient réellement dans le conducteur de l'électromètre ; dans le cas précédent l'électromètre n'en recevait pas réellement, et l'électricité par influence agissant également sur le conducteur et sur les feuilles d'or de l'appareil dans tous les sens, il ne pourra pas y avoir d'indication. On voit que, dans les cas mentionnés, les indications électrométriques ne sont pas proportionnelles à la tension électrique de l'atmosphère.

Un autre cause du désaccord dans la période est la hauteur de l'observatoire. Plus l'observatoire est élevé, moins l'électromètre ressentira l'influence électrique des objets situés à la surface du sol. Les faits sont là pour le démontrer. Les météorologistes, d'ailleurs, sont d'accord sur ce point. Saussure sur les hauteurs, dans les beaux jours, trouvait un excès si grand d'électricité, qu'elle n'était nullement comparable aux tensions obtenues dans la plaine. En voyant cette grande différence, Saussure a affirmé que la quantité de fluide serait aussi sensible dans les parties basses que dans les hauteurs, s'il était possible de soustraire l'appareil à l'influence des objets environnants. Cela cependant n'est pas entièrement vrai, parce qu'à la surface terrestre il existe toujours plus ou moins de fluide, lequel se comporte différemment, selon la nature et la conformation du sol. Au chapitre neuvième de ce livre, nous parlerons de la manière dont l'électricité s'accumule sur la surface terrestre, et spécialement de la manière dont se comportent les montagnes.

Jusqu'ici, dans les observations météorologiques, on a indiqué l'é-

tat du ciel, mais on n'a pas donné à la présence des nuages toute l'importance qu'ils méritent. La quantité d'électricité qui arrive directement à la couche atmosphérique où se trouve le conducteur de l'électromètre doit être d'autant plus grande que le ciel est plus pur, parce que les nuages répandus dans le ciel agiront par influence plus ou moins sur l'électromètre. On sait, en effet, que les nuages présentent toujours une tension électrique plus ou moins forte, en sorte que la présence des nuages, même sous l'horizon, est capable de changer en sens contraire les indications de l'appareil. Nous avons déjà fait voir ailleurs qu'une aiguille en verre ou en métal, suspendue par un fil de cocon dans l'intérieur d'une cloche en verre et exposée aux rayons du soleil, aussitôt qu'un cirrus, même le plus léger, s'interpose entre les rayons et l'aiguille, celle-ci change à l'instant de direction. C'est que le cirrus se comporte par rapport à l'électricité comme un corps opaque par rapport à la lumière. On voit par là que la présence des nuages et des voiles de vapeurs dans le ciel, l'heure de leur apparition, leur étendue, leur élévation et la position qu'ils occupent par rapport à l'appareil, sont autant de causes qui tendent à modifier la période.

Il est vrai qu'on avait déjà remarqué une variation d'intensité dans l'électricité, coïncidant avec l'apparition des nuages et des voiles de vapeur, mais on n'avait pas signalé de rapport entre ces deux phénomènes. Il faut cependant ajouter que, bien que les nuages et les cirrus, même les plus légers, soient chargés d'électricité, il n'est pas cependant possible d'affirmer avec exactitude si, par leur apparition, les électromètres indiqueront une augmentation ou une diminution ; car l'accroissement et la diminution dépendent de la position de ces amas de vapeurs par rapport à l'électromètre, et de l'état hygrométrique du reste de l'atmosphère. L'action de l'électricité sera différente selon que les nuages apparaissent en un ou plusieurs endroits, selon qu'ils existent entre le soleil et l'instrument ou dans d'autres endroits du ciel, selon que le moment de leur apparition est plus près du maximum ou du minimum que ne l'est le moment de leur disparition.

En outre, les vents peuvent aussi altérer la période. Nous verrons, quelques chapitres plus loin, comment l'action du vent augmente parfois puissamment les tensions des électromètres. Ce fait est d'ailleurs

connu des météorologistes. Un vent donc, soufflant à une heure où les indications sont ordinairement faibles, peut donner à l'appareil l'indication maximum du jour. Si on en tient compte dans le calcul de la moyenne, celle-ci sera d'autant plus fausse que le nombre de ces cas a été plus grand. Il faudrait donc écarter du calcul les observations faites dans ces conditions, et prendre la moyenne des jours qui seront trouvés dans les conditions normales.

Outre ces différentes causes, on a, croyons-nous, ajouté trop de foi aux indications électrométriques en leur donnant une valeur qu'elles n'ont pas. D'abord elles ne peuvent pas être comparées entr'elles, parce que les observatoires se trouvent dans des conditions différentes, n'étant pas tous égalemont élevés ni également isolés, et la pureté du ciel étant différente selon la différence des climats. Ces remarques ont été déjà faites par M. Quetelet, et le P. Secchi les répète dans son *Bullettino meteorologico*. Par conséquent, les observations de Bruxelles, de Genève, de Naples ou de Rome, serviront tout au plus à nous faire connaître la période de chacun de ces lieux, mais ces périodes ne pourront pas êtro d'accord entre elles, et, par la même raison, elles ne nous feront pas découvrir la loi générale de l'augmentation ou de la diminution de l'électricité dans l'atmosphère dans les différents pays du globe.

On ne doit pas surtout oublier que les maxima et les minima obtenus dans chaque pays ne sont pas les maxima et les minima absolus, mais qu'ils indiquent los maxima de *différence des tensions électriques entre l'atmosphère et le sol*, ce qui doit nécessairement faire correspondre le minimum do l'électricité là où se trouve à peu près le maximum vrai, savoir, aux heures plus chaudes de la journée.

En effet, d'après notre manière de voir, la quantité d'électricité retenue dans l'atmosphère doit augmenter en raison inverse du sinus de l'angle d'incidence des rayons solaires, parce que lorsque le soleil est à l'horizon, la couche d'air que les rayons traversent est environ quatorze fois plus épaisse que lorsquo le soleil est au zénith. En outre, les couches d'air contiennent d'autant plus de vapeurs qu'elles sont plus rapprochées de la surface terrestre. Donc la quantité d'électricité qui vient au sol est plus petite vers le matin et vers le soir ; par conséquent, les appareils accusoront dans l'atmosphère des tensions plus fortes.

Ce ne sera cependant pas parce que les plus grandes quantités d'électricité correspondent au matin et au soir, mais parce que l'électricité du sol étant moindre, son influence sur l'appareil, ou plutôt son antagonisme sur l'électricité de l'air, sera moins sensible qu'à tout autre moment de la journée.

Au contraire, lorsque les rayons solaires traversent l'air pur et que l'astre est plus près du zénith, l'électricité qui arrive jusqu'au sol est plus considérable ; son action ou son influence sur l'appareil étant plus forte qu'à tout autre moment, son antagonisme sur l'électricité de l'air sera alors plus grand : l'électromètre indiquera un affaiblissement dans la tension. Voilà pourquoi on trouve généralement deux maxima, l'un dans les premières heures du matin, l'autre dans les dernières heures du soir. Voilà pourquoi en un siècle d'observations, depuis Beccaria jusqu'à ce jour, on n'a pas encore soupçonné que la *cause principale* de l'électricité atmosphérique et terrestre provient de la lumière solaire.

Une autre cause qui, d'après nous, a dérouté les météorologistes, c'est que la quantité d'électricité paraît varier en sens contraire de la température. Au lieu de trouver le maximum de l'année dans l'été, on l'a trouvé dans l'hiver. Les variations qui ont lieu au printemps et à l'automne ne diffèrent pas sensiblement les unes des autres.

Nous pouvons nous rendre compte des différences d'indications entre l'été et l'hiver. La conductibilité électrique de l'air, ainsi que Matteucci l'a prouvé, ne dépend pas de l'état hygrométrique, mais de la quantité absolue de vapeur que l'air contient. Cette quantité est plus grande pendant l'été que pendant l'hiver. Dans les beaux jours de l'été donc, l'atmosphère laissera passer plus facilement l'électricité que pendant l'hiver ; la différence de tension électrique entre l'atmosphère et le sol sera moindre pendant l'été. Il n'est donc pas étonnant que les indications électrométriques soient moindres dans cette saison que dans la saison opposée.

De plus, l'humidité du sol pendant l'hiver le rendant plus conducteur, ainsi que les couches d'air en contact avec lui, la tension que le sol peut prendre dans cette saison est moindre que pendant l'été, ce qui fait paraître la tension de l'atmosphère plus forte.

D'après ce que nous venons de dire dans ce chapitre, nous croyons

pouvoir conclure que les méthodes d'observation adoptées jusqu'ici, quoique capables de nous indiquer d'une manière ou d'une autre l'état électrique des couches d'air qu'on explore, ne pourront pas nous découvrir la vraie origine de l'électricité atmosphérique et terrestre.

Pour nous assurer si la plus grande quantité d'électricité correspond aux mois les plus chauds ou aux mois les plus froids de l'année et si le maximum diurne est en rapport ou non avec le maximum de température de la journée, les électromètres ne devraient pas être placés dans les lieux élevés, parce qu'ils se trouvent soumis aux influences contraires de l'électricité des couches atmosphériques supérieures et inférieures et à l'influence du sol ; mais tout en tenant les conducteurs à de grandes hauteurs, on devrait placer les appareils dans des chambres souterraines et autant que possible conservées à la même température. Les conducteurs, dans toute la hauteur, devraient être revêtus de matières isolantes, pour empêcher la dispersion de l'électricité. Un électromètre, dans des conditions pareilles, est, à notre avis, le seul capable de nous dire la vérité. Ses indications ne seraient pas la différence, mais la somme des indications électriques de toute la colonne atmosphérique et de la surface terrestre.

## CHAPITRE VIII

### DES INDICATIONS ÉLECTROMÉTRIQUES A CIEL NUAGEUX.

Si nous arrêtons les regards sur l'électromètre de Bennet au moment où les nuages commencent à s'amonceler dans le ciel pour former un orage, nous serons témoins d'indications tout à fait bizarres. Il arrive, surtout lorsque l'orage s'est déjà formé, que les éclairs se succèdent à des intervalles très-courts suivis presque aussitôt du tonnerre sans que cependant les feuilles d'or soient nullement influencées; elles restent parfois aussi immobiles que dans les jours les plus calmes. Un éclair plus brillant vous donne soudain une tension très-forte qui persiste dans l'appareil. Les éclairs continuent : les feuilles d'or tantôt se rapprochent, tantôt divergent davantage. Un éclair suffit quelquefois pour les faire retomber au zéro, et elles restent dans cet état malgré les éclairs qui se succèdent à de courts intervalles. Il arrive que pendant plus ou moins longtemps le signe électrique est positif, malgré la succession rapide des éclairs ; mais ce signe ne se maintient pas constant ; il alterne sans aucune règle avec le signe négatif. Cette alternation peut se présenter à chaque roulement de tonnerre. Volta a observé avec son électromètre ces divers changements se succéder quelquefois peu à peu, d'autres fois instantanément, et souvent il les a vus se suivre avec rapidité, huit et dix fois, et dans une occasion jusqu'à quatorze fois dans une minute. (VOLTA, *Lett. sulla grandine parte, 1ª.*)

Tous ces changements bizarres que l'électromètre présente dans ses indications ont jusqu'ici embarrassé les météorologistes, qui les ont considérés comme des phénomènes très-compliqués.

Kaemtz, pour s'en rendre compte, compare les effets des nuages à ceux de la bouteille de Leyde. L'explication est ingénieuse sans doute; mais pour qu'il pût y avoir quelque analogie, il faudrait sup-

poser dans le ciel l'existence de deux nuages séparés par une couche d'air sec d'une épaisseur de plusieurs milliers de mètres; sans cela l'électricité d'un nuage s'écoulerait facilement dans l'autre. Or il est difficile que ces conditions se réalisent. En outre, même en supposant l'existence des deux nuages de la manière dont nous venons de parler, les phénomènes ne pourraient être expliqués. Les signes électriques partout où ils se manifestent, on le sait, sont dus aux différences des tensions : le nuage négativement électrisé possède, lui aussi, de l'électricité; et quoique la tension sur ce nuage soit inférieure à la tension de l'autre, elle sera néanmoins plus forte que sur tout autre point de l'atmosphère qui ne contient pas des amas de vapeurs visibles. La décharge se fera donc plutôt de la nue la plus chargée vers toute autre partie de l'atmosphère que vers la seconde nue séparée de la première par une couche d'air sec d'une grande épaisseur.

Mais en acceptant, même telle quelle, la supposition du célèbre météorologiste, elle n'explique pas le silence absolu de l'électromètre au moment des éclairs suivis presque aussitôt du tonnerre, c'est-à-dire d'éclairs très-rapprochés de l'observateur. Comment se rendre compte du changement rapide des signes? L'électricité jaillira toujours du même nuage, comme l'étincelle jaillit toujours de l'armature positive vers la négative; l'électromètre devrait, par conséquent, donner un signe constant et une augmentation ou une diminution d'intensité constante, selon la position des nues par rapport à l'appareil.

Il sera aisé de se rendre compte de toutes ces bizarreries sans avoir recours à aucune hypothèse, en supposant seulement, comme nous le devons, tous les nuages chargés d'électricité, mais à des tensions différentes; voici comment nous expliquons ces phénomènes :

Mettez l'électromètre à une distance de la machine électrique telle que par le maximum de tension de celle-ci les feuilles d'or ne puissent pas toucher les parois de la cloche. Que l'électromètre soit seul ou qu'un corps quelconque se trouve près de lui, bien que la machine ne cesse pas de fonctionner, les feuilles d'or ne vous donneront pas des indications constantes. Vous les verrez de temps en temps s'abaisser instantanément et se relever presqu'aussitôt, reprendre comme au-

paravant le mouvement progressif, et retomber de nouveau, et se relever de même pour retomber encore, et ainsi de suite. Cela provient de ce que l'électricité de la machine ayant atteint la tension *maximum* surmonte la résistance de l'air et s'écoule en partie; par conséquent l'influence sur l'électomètre ayant diminué, les indications de celui-ci ne pourront qu'être plus faibles. Et comme la machine acquiert une nouvelle tension, les feuilles d'or de l'électromètre s'écartent de nouveau. Il en est de même dans l'atmosphère. Lorsqu'un nuage a acquis une certaine tension, son action commencera à se révéler; votre électromètre se comportera comme lorsqu'il était en présence de la machine électrique.

Aussitôt que le nuage aura atteint son maximum de tension, l'électricité s'écoulera. Si le nuage se condense ou s'il est directement investi par le soleil, sa tension électrique augmentera de nouveau, surtout si le concours de ces deux circonstances est simultané. Mais quelle que soit la cause de l'augmentation de l'électricité, cette augmentation se révèle souvent par l'augmentation d'éclat des éclairs et du bruit du tonnerre. Or si l'écoulement peut avoir lieu avec lumière et avec bruit, il peut arriver aussi sans l'accompagnement de ces deux phénomènes. Votre électromètre pourra donc vous donner des indications à des moments où vous ne vous y attendez pas, et ces indications seront tantôt une diminution, tantôt une augmentation; une diminution si l'écoulement a lieu du côté opposé à l'endroit où se trouve votre appareil, une augmentation si la décharge se fait du côté de celui-ci. Et comme l'écoulement a lieu dans toutes les directions en s'éloignant plus ou moins de l'observateur ou en se rapprochant plus ou moins directement de lui, tantôt parallèlement au sol, tantôt vers les espaces célestes ou vers la surface de la terre, il est évident que l'électromètre donnera des signes différents, même dans la supposition que la quantité d'électricité qui s'écoule soit toujours la même.

L'écoulement sans lumière a lieu lorsque la résistance naturelle du milieu a diminué ou par l'humidité qu'il peut contenir ou par l'élévation d'une montagne ou d'un édifice, parce que, dans ces cas, le nuage ne pourra atteindre que des tensions respectivement faibles. La quantité d'électricité qui s'écoule sera donc insuffisante à pro-

duire un bruit et une lumière sensibles à l'observateur : voilà pourquoi il n'aura connaissance de cet écoulement que par les indications de son instrument. Mais lorsque l'air a conservé sa propriété et quo le nuage est isolé des sommets élevés des montagnes, la tension que celui-ci peut prendre peut être considérable. Lorsque le maximum aura été atteint, le fluide jaillira avec les mêmes bizarreries de tout à l'heure, mais avec éclair et avec tonnerre, soit à cause des grandes résistances qu'il rencontre, soit surtout à cause de la tension elle-même. Les indications des électromètres pourront être par hasard plus puissantes, mais elles seront aussi étranges quo les premières. Des éclairs fort brillants suivis de très-près du tonnerre pourront se succéder, et votre appareil, au lieu de présenter un écartement des feuilles d'or, pourra vous donner des indications différentes, non seulement par rapport à l'intensité, mais par rapport aussi aux signes.

Supposez, en effet, que l'électricité en s'écoulant s'éloigne de vous, sa tension étant maintenant moindre, l'électromètre sera d'autant moins influencé que l'éclair a été plus brillant ou, en d'autres termes, d'autant plus que la quantité écoulée a été plus grande. Il peut, par conséquent, arriver aussi qu'après un écoulement, la tension de la nue soit tellement diminuée que son action ne s'étende plus jusqu'à votre instrument; celui-ci restera sans mouvement.

Il faut ici noter que bien que l'écoulement de l'électricité paraisse arriver d'une manière bizarre, néanmoins, comme le fait remarquer Arago dans son travail sur le tonnerre *(Annuaire pour le bureau des long., de 1838.)*, cet écoulement est soumis à des lois et dépendant de la nature et de la position des corps terrestres.

Nous ajouterons que l'écoulement, soit lent, soit instantané, dépend aussi de l'état électrique des corps environnants. Si l'on suppose l'atmosphère et le sol réellement électrisés, lorsqu'un orage s'est formé dans un endroit quelconque du ciel, il suffit quo l'électricité terrestre possède une tension médiocre pour déterminer la décharge du nuage en toute autre direction que vers la surface terrestre. Cette décharge aura lieu plutôt vers les espaces célestes parce que les régions supérieures, contenant moins d'humidité que

les couches inférieures, seront naturellement moins électrisées, et étant d'un autre côté moins denses laisseront plus facilement passer l'électricité ; et en outre parce que l'électricité terrestre se comporte sur l'électricité du nuage comme une force contraire et déterminera le mouvement en direction opposée.

Il peut donc arriver qu'au moment d'un éclair plus brillant que les autres, les feuilles d'or s'abaissent, arrivent au contact et s'éloignent de nouveau, indiquant une électricité contraire. Dans ce cas, c'est à l'électricité terrestre qu'il faut attribuer le second signe. Après la décharge du nuage, la tension de celui-ci étant de beaucoup diminuée, la tension de l'électricité terrestre se trouve prédominer, le signe dans l'électromètre doit être inverse. Si dans cet état de choses un autre éclair a lieu et si l'électricité, sans venir vers la terre, marche en direction plus ou moins directe de l'électromètre, les feuilles d'or pourront de nouveau retomber à zéro et reprendre l'indication positive.

Supposez maintenant que le nuage orageux continue à envoyer des éclairs mais en direction différente, c'est-à-dire en direction plus ou moins opposée à l'électromètre. Si l'électricité terrestre possède la tension de tout à l'heure, l'indication négative augmentera ; mais si l'électricité terrestre a une faible tension, les éclairs pourront se succéder sans que l'électromètre soit nullement influencé. L'insensibilité de l'appareil continuera jusqu'à ce qu'une décharge soit nouvellement dirigée vers le lieu de l'expérience ou que par les pertes continuelles de la nue, l'électricité terrestre prédomine de nouveau. Dans ce cas, comme on le comprend, l'indication sera négative ; elle sera positive dans l'autre cas.

Le P. Beccaria, dans son ouvrage (*Dell' elettricismo terrestre atmosferico*, lettera 10, risultato 4.) parle au long du mouvement des nuages secondaires, qu'il appelle *nuvoli ascitizi*, vers un nuage principal ou *nimbus* qui se tient immobile ou qui marche très-lentement. Tous les météorologistes connaissent d'ailleurs ce fait. Eh bien, la présence de ces nuages secondaires donne lieu à des phénomènes analogues à ceux dont nous venons de parler.

Prenez un globe métallique isolé par un long manche en verre. Après avoir placé l'électromètre à quelque distance de la machine,

mettez en mouvement le plateau de celle-ci d'une manière lente et uniforme. L'électromètre vous indiquera une tension, mais si vous portez très-lentement le globo entre la machine et l'appareil, la tension diminuera d'autant plus que le globe aura été porté plus près de ce dernier. Mais si vous placez le globo de l'autre côté, en sorte que maintenant l'électromètre se trouve entre le globe et la machine, les feuilles d'or divergeront do nouveau, et cette divergence sera, à distances égales, plus grande que l'abaissement dans la position précédente. Si le globe est électrisé, pourvu que sa tension ne soit pas supérieure à cello de la machine, le phénomène dans les deux cas est le même, et il est inutile de nous arrêter à en donner la raison, qui est d'ello-même assez clairo.

Si donc votre appareil, au lieu de se trouver en regard d'une machine électrique se trouve en présence d'un nuage orageux, et si tandis qu'il vous donno des signes énergiques d'électricité, un autre nuage commence à se former en se dirigeant vers le premier, les signes de votre instrument seront modifiés; ils pourront augmenter ou diminuer selon la position qu'il occupe par rapport aux nuages. Si au lieu d'un nuage secondaire il s'on forme plusieurs, commo il arrive ordinairemont dans l'atmosphère, les indications électrométriques se compliqueront. Si vous ajoutez à tout cela l'écoulement de l'électricité du nuage principal, les indications se compliqueront davantage.

Il est vrai de dire quo l'écoulement, tant que l'orago se forme, n'a lieu que sur les nuages secondaires, et ces décharges arrivent lentement, car l'orage n'éclate que lorsquo la tension électrique du *nimbus* a atteint son maximum de tension. En général, lorsque la première décharge a lieu, ou le nimbus en mouvement accélère brusquement la marche, ou il change de direction, ou s'il était immobile il se met en mouvement. Ceci a lieu surtout pour les nuages à grêle, ainsi que je l'ai fait remarquer dans mon mémoire sur ce sujet. (*Annuaire de la Société météorologique de France*, tome 11ᵉ, page 105.) Mais dans les orages ordinaires ce sont des nuages secondaires qui se séparent du nuage principal, poussés par un vent en direction plus ou moins contraire au vent précédent. Cette inversion du vent est frappante dans les nuages à grêle. Lorsque, dans un

autre travail que nous préparons, nous parlerons des causes de la formation et de l'élévation des nuages, nous reviendrons sur tous ces mouvements. Il suffira de les avoir simplement indiqués ici. Le météorologiste, s'il veut se guider par les principes que nous venons d'exposer, pourra dans les cas particuliers, d'après l'état du ciel et de l'ensemble des circonstances, se rendre plus ou moins compte des indications que lui donne son appareil (1).

Le P. Secchi, par les expériences qu'il a faites en juin 1862 avec le fil télégraphique entre Rome et Port d'Anzo, mis en communication avec un galvanomètre, a vérifié que les décharges électriques qui accompagnent les éclairs sont tantôt dans le sens du courant permanent du galvanomètre, tantôt en sens contraire, ce qui prouve que l'écoulement se fait dans des directions différentes.

L'explication que nous avons donnée dans ces deux derniers chapitres sur les signes électriques est non seulement très-naturelle et très-simple, mais elle est confirmée par des faits positifs. Au chapitre suivant nous viendrons encore sur l'*électricité libre* de la surface terrestre; nous démontrerons alors, mieux que nous ne l'avons fait au chapitre V, ce point qui aura pu paraître ne pas avoir été assez bien démontré.

Nous ne pouvons pas cependant mettre fin à ce chapitre sans ajouter quelques observations sur les signes électriques de la pluie.

Les fortes pluies, d'après tous les météorologistes, donnent toujours des signes d'électricité positive (2). Les pluies fines seulement

(1) Nous avons supposé que nous expérimentions avec l'électromètre de Bennet : or cet instrument ne peut être employé pour l'étude de l'électricité des orages parce que parfois les tensions sont si fortes que les feuilles d'or, poussées avec force contre les parois du bocal, se brisent. Dans les observations on fait usage d'un autre instrument formé d'une feuille d'or qui peut osciller entre les deux pôles contraires d'une pile de Zamboni sans que dans son plus grand écart elle puisse pourtant les toucher ; la feuille d'or est en communication directe avec une tige métallique qui va à l'extérieur de l'appareil ; on l'appelle l'électroscope de Bonhemberger. Son premier inventeur est Berhenz, Zamboni y a introduit quelques modifications, Bonhemberger n'a fait qu'en donner la description. (Voir *Bibliothèque universelle*, livraison de novembre de 1820.)

(2) Volta a observé le contraire : il affirme avoir trouvé toutes les pluies négatives, quelle que fût leur origine, quelle que fût la hauteur des nuages, quel que fût l'état



présentent tantôt l'un, tantôt l'autre signe, phénomène qui dépend en partie de l'état électrique du sol et de l'atmosphère et de l'état hygrométrique de l'air avant la chute de la pluie, et surtout de la quantité d'électricité que cette pluie possède, quantité qui ne peut qu'être modique, vu la petite surface des gouttes elles-mêmes. Or, si avant la chute de la pluie l'électricité terrestre prédomine, l'électricité propre des gouttes non seulement ne pourra pas augmenter la tension de l'appareil, mais elle le remettra à l'état naturel ou elle lui fera prendre une indication négative, parce qu'en tombant sur la surface d'exploration les gouttes lui feront perdre une partie d'autant plus grande de son électricité que l'électricité du sol est plus forte. L'électromètre pourra donner le signe positif ou négatif, selon la différente tension électrique de l'air et du sol, ou même ne pas donner d'indication du tout. Pour se rendre compte de la différence des signes de ces espèces de pluies, il faut faire attention aux signes qui les ont immédiatement précédées.

La pluie, avons-nous dit, donne toujours le signe électrique positif. Cela doit s'entendre uniquement du lieu sur lequel elle tombe, et dans le cas où il n'en tombe pas de plus forte à peu de distance de là; car alors, comme l'a fait remarquer M. Palmieri, le signe peut être négatif; la raison en est évidente. C'est que la première de ces pluies tombe sur la surface métallique d'observation, l'autre sur le sol; l'électromètre se trouvant sous l'influence de deux

du ciel. Il pensait que les gouttes de pluie en tombant étaient dépouillées de toute leur électricité, ou au moins d'une partie; en sorte que, d'après lui, en arrivant au sol elles pouvaient tout au plus se trouver à l'état naturel. Les observations postérieures faites avec d'autres méthodes d'observation plus précises que ne l'était la méthode de la flamme au bout du conducteur de l'électromètre, ont montré que les pluies sont généralement chargées d'électricité. Peltier a vu les feuilles d'or de son électromètre adhérer aux parois du bocal par la chute d'une grosse goutte sur un vase isolé, mis en communication avec l'électromètre. Mais sans recourir à des observations postérieures à celles de Volta, le P. Beccaria a trouvé une ombrelle de fer blanc électrisée aussi par le contact de quelques gouttes. Toaldo raconte, dans son *Journal Météorologique*, qu'à la suite de grandes chaleurs dans la Gothie orientale, les gouttes de pluie étaient lumineuses. Rozier parle aussi d'un pareil phénomène dans son *Journal de Physique* (vol. 3, 1774). Arago de même en parle, et il cite plusieurs faits que nous croyons inutile de rapporter. (*Annuaire de 1838*, page 382.)

actions contraires, le signe que vous obtiendrez dépendra de la tension électrique plus forte, et, par conséquent, si la pluie qui tombe à quelque distance de vous est plus abondante, le signe sera négatif. Il sera positif lorsque la tension électrique de la pluie qui tombe sur l'observatoire est plus forte, ou nul lorsque ces deux tensions se contre-balancent.

Les signes électriques présentent des phases différentes, selon que la pluie s'approche ou s'éloigne de l'observatoire; nous les indiquerons ici. Ces phases sont les suivantes :

I. — Lorsque la pluie tombe dans un endroit bien éloigné du lieu d'observation, la tension positive des nuages ou de l'atmosphère augmente presque toujours un peu, surtout si l'on se sert d'un conducteur immobile.

II. — Quand la pluie s'approche ou s'éloigne de l'observatoire, il y a un moment où le signe négatif se déclare ; la tension pourra devenir assez forte pour donner des étincelles, même à conducteur fixe.

III. — Lorsque la pluie commence à tomber sur le lieu de l'observation, le signe, comme nous l'avons dit, est toujours positif, et la tension est plus ou moins forte; parfois on obtient aussi des étincelles, même à conducteur fixe.

IV. — Quand la pluie s'est beaucoup éloignée ou qu'elle a cessé, le signe continue à être positif, mais en général plus faible.

V. — Entre une période et l'autre, il existe un moment neutre de très-courte durée.

Ces lois sont le résultat d'observations suivies et consciencieusement faites en 1853 par M. Palmieri sur l'observatoire du Vésuve. (*Continuaz. degli studi meteorol., etc.*, page 5.)

Ne tenant pas compte de la variation de tension qu'on remarque au commencement et à la fin de la pluie, l'auteur réduit les phases au nombre de trois : *approche* de la pluie, *chute verticale* sur l'observatoire, *éloignement;* et il ajoute : « On déduit de là qu'où tombe la pluie on doit avoir de l'électricité positive *avec une atmosphère ou zone négative, tout autour plus ou moins ample;* si donc la pluie commence à tomber sur le lieu d'observation et finit là, il vous arrivera d'observer seulement de l'électricité positive ; si elle tombe

à une certaine distance sans arriver jusqu'à vous, vous aurez seulement de l'électricité négative. *(Ibidem*, page 6.) » Le savant auteur ne dit pas en quoi consiste cette zone ou atmosphère négative ; il exclut seulement l'idée de ***nues et de pluies négatives***, et nous faisons des vœux avec lui pour que ces dénominations soient à tout jamais bannies des livres de météorologie.

Cette colonne négative est, d'après nous, un phénomène d'induction produit par l'électricité de la pluie. Toute l'atmosphère est toujours et en tout temps électrisée positivement ; mais lorsque la pluie commence à tomber sur un endroit, toute la colonne atmosphérique où se passe le phénomène se trouve plus électrisée. Cette électricité doit nécessairement agir par influence sur le fluide de l'air environnant en le refoulant à une plus ou moins grande distance, selon la différence de tension de l'électricité de la pluie, et selon le plus ou moins d'humidité de l'air qui l'environne.

D'après cette manière de voir, la colonne de pluie ne serait pas seulement entourée d'une zone négative, mais de deux zones concentriques : la première négative, la seconde ou la plus éloignée positive. La présence de cette seconde zone explique l'augmentation de la tension positive que M. Palmieri a remarqué avoir lieu presque toujours lorsque la pluie commence à tomber à une certaine distance du lieu d'observation ; ce phénomène doit avoir lieu *toujours*, mais il ne sera pas toujours possible de le constater, parce que l'observateur, au moment où éclate la pluie, peut se trouver au sein de la zone négative. Si pourtant il était attentif à l'électromètre au moment où la pluie commence à tomber au loin, il verrait toujours, même dans ce cas, l'instant où l'influence de l'électricité de la pluie commence ; il verrait une augmentation rapide et instantanée d'électricité positive, suivie presqu'instantanément aussi du signe négatif. Nous croyons que dans les livres de météorologie on ne doit pas négliger d'indiquer ces alternations du signe électrique, savoir : accroissement de tension positive, moment neutre, apparition du signe négatif, conversion de celui-ci en signe positif pendant tout le temps de la chute de la pluie sur le lieu d'observation, et, enfin, réapparition, en ordre inverse, de toutes les phases qui ont précédé; car ces phases, comme nous venons de le dire, sont constantes. Dans

tous les cas, il n'est pas permis de considérer la colonne de pluie comme entourée seulement d'une zone atmosphérique négative ; car premièrement, cette zone négative, si elle était seule, ne pourrait pas s'expliquer ; en outre, on ne pourrait non plus se rendre compte de l'augmentation soudaine de la tension positive qui la précède à l'approche de la pluie, et qui la suit lorsque le météore s'éloigne

# CHAPITRE IX.

## RÔLE DES MONTAGNES.

Saussure, en s'élevant sur les Alpes, a constamment obtenu de l'électricité positive. M. Matteucci, dans une vallée, près des Bains de Lucques, en tenant suspendu en l'air, à l'aide d'un ballon à gaz hydrogène, un fil métallique, trouva l'extrémité inférieure de ce fil électrisée positivement. Biot et Gay-Lussac, dans leur célèbre ascension aérostatique, en faisant descendre de la nacelle un fil de métal de 50 mètres terminé par une boule, trouvèrent la partie supérieure de ce fil toujours électrisée négativement. Ces résultats en apparence contradictoires ne le sont pas. Saussure, par un procédé fort ingénieux, enlevait réellement à l'air une partie de son électricité (1), tandis que les signes obtenus par Biot et Gay-Lussac d'un côté, et par Matteuci de l'autre, étaient des phénomènes d'influence. Ce dernier examinait le bout inférieur du fil, Biot et Gay-Lussac le bout supérieur. Comme on le voit, loin d'être en contradiction entre eux, ces résultats confirment le fait fondamental observé par Ermann, que nous avons ailleurs rapporté.

Un corps qui s'élève dans l'atmosphère à toutes les hauteurs abor-

(1) Saussure, dans ses expériences sur les Alpes, se servait de l'électromètre de Tibère Cavallo. Cet instrument diffère de celui de Volta par deux légers pendules en moelle de sureau qui remplacent les pailles. Pour enlever à l'air une partie de son électricité, Saussure jetait en haut une balle un peu pesante ou une flèche qu'il mettait en communication avec un fil de métal très-fin, dont l'extrémité inférieure, bouclée autour de la tige de l'électroscope, adhérait à cette tige par la légère pression de son propre ressort. Par l'impulsion donnée à la boule ou à la flèche, le fil se déployait, et tout le système se trouvait électrisé de la même manière, et, comme l'impulsion portait la boule plus loin que la longueur du fil ne le permettait, celui-ci se détachait de la tige de l'appareil en lui laissant l'électricité qui lui avait été communiquée. (SAUSSURE, *Voyage dans les Alpes*, tome 3.)

dables, sous l'influence de l'électricité atmosphérique, s'il est isolé, se trouve donc électrisé négativement à la partie supérieure, positivement à l'autre extrémité. Biot et Gay-Lussac ont constaté ce phénomène jusqu'à 4,000 mètres au-dessus du niveau de la mer, hauteur maximum de leur élévation. Comme on ne peut mettre en doute que ce signe ne soit un phénomène d'influence, la partie inférieure du fil devait, à toutes les hauteurs, présenter le signe contraire.

Saussure, à toutes les hauteurs aussi, du moins jusqu'à 3,500 mètres, qui est l'altitude du sommet le plus élevé du Saint-Bernard, a constaté que l'air contient toujours une quantité d'électricité libre. Cette vérité, déjà démontrée dans un autre chapitre, reçoit, par les faits que nous venons d'énoncer, une nouvelle confirmation.

Or, quel sera l'effet de cette électricité sur la surface terrestre? Il nous paraît incontestable que, soit qu'on admette avec nous l'existence d'une certaine tension électrique sur notre globe, soit qu'on le suppose à l'état normal, ou, si l'on veut, à l'état négatif, ce sera *sur les points les plus élevés de la terre, sur les sommets des montagnes surtout, que l'action de l'électricité atmosphérique sera plus sensible.*

Commençons par supposer la terre, elle aussi, électrisée positivement. Ou sa tension prédomine, ou bien c'est la tension de l'électricité atmosphérique qui l'emporte. Dans le premier cas, l'électricité se disposera sur la surface terrestre selon les lois connues, c'est-à-dire elle se portera et s'accumulera de préférence sur les points les plus proéminents. Ce n'est pas l'état ordinaire, il est vrai, mais nous verrons plus loin que, dans plusieurs circonstances, cela a lieu réellement.

Dans les trois autres cas, c'est-à-dire quand la tension électrique de la terre est inférieure à celle de l'atmosphère, quand la terre est à l'état normal ou à l'état négatif, ce sera encore sur les sommets les plus culminants du globe que se manifestera d'abord et plus particulièrement l'action de l'électricité atmosphérique. Un corps conducteur, isolé ou non, électrisé ou non, rapproché d'une source d'électricité, vous donnera toujours, du côté tourné vers elle, les signes de non contraire. C'est dans le point le plus rapproché de la source elle-même que ces signes présentent leur maximum d'inten-

sité; les sommets des montagnes se trouveront donc dans ces trois cas négativement électrisés. Les électromètres indiqueront, par conséquent, une tension d'autant plus énergique dans l'atmosphère, que ces sommets sont plus élevés. C'est ce qui a été observé par Saussure d'abord, sur les Alpes, et plus tard par Humbold, dans ses voyages aux régions équatoriales.

Saussure, en parlant de l'électricité observée sur le Môle, qui est une montagne isolée et élevée de 1,862 mètres au-dessus du niveau de la mer, s'exprime en ces termes : « Voici quelle a été la force de l'électricité sur la cime de la montagne. Pendant le temps que j'y passai, la divergence des boules varia entre 4 lignes 7 dixièmes et 3 lignes 7 dixièmes. Ces variations tenaient à des causes invisibles, et vraisemblablement à des changements dans les courants d'air ou de vapeurs qui échappaient à mes yeux. Lorsque je tenais en ma main l'électromètre fixe et immobile je voyais l'électricité augmenter en certains moments, et décroître dans d'autres. Elle vint une fois à 5 lignes et demie, quantité étonnante! Je dis étonnante, parce qu'un bâton ordinaire de bonne cire à cacheter, aussi fortement électrisé qu'il puisse l'être, n'excite ce degré de divergence entre les boules de mon électromètre que quand on le tient à deux pouces de distance de sa pointe, quantité que je n'ai vue dans la plaine qu'au moment d'un orage ; mais cela ne dura qu'un moment, entre midi et midi et demi. Les nuages que j'avais traversés et que j'avais laissés sous mes pieds, en arrivant à la pointe du Môle, se dissipèrent peu à peu, et à la fin, il n'en resta plus du tout. Ils ne parurent pas influer sur l'électricité, car sa force moyenne demeura la même après leur disparition. (*Voyage dans les Alpes*, volume 4, chapitre 53.) »

Nous ne citerons pas d'autres faits tendant à prouver la très-grande tension électrique de l'atmosphère sur les sommets des montagnes, car nous l'avons déjà fait assez remarquer en parlant de la divergence de la période, et aucun doute sérieux ne pourrait être élevé sur ce sujet.

Ce que nous voulons faire ressortir ici, c'est que, soit que l'électricité prédomine dans l'atmosphère, soit qu'elle prédomine sur le sol, ce sera précisément sur les montagnes et sur toutes les parties

**élevées que se manifesteront de préférence les phénomènes électriques. Ceci découle d'abord de ce que nous venons de dire, découle des expériences qu'il nous est permis de répéter dans nos laboratoires, et surtout découle des faits ou plutôt est appuyé sur des faits dont un certain nombre va être mis sous les yeux du lecteur.**

**Arago, dans son écrit sur le tonnerre, dit explicitement (§ AA)** que, surtout pendant les orages, c'est sur « les parties les plus saillantes des corps terrestres » que, dès la plus haute antiquité, ont été observés des phénomènes lumineux présentant des aspects différents. Il rapporte entre autres les suivants :

« Le 8 mai, après le coucher du soleil, des officiers d'artillerie et du génie se promenaient tête nue pendant un orage sur la terrasse du fort Bab-Azoun, à Alger. Chacun, en regardant son voisin, remarqua avec étonnement, aux extrémités de ses cheveux tout hérissés, de petites aigrettes lumineuses. Quand ces officiers levaient les mains, des aigrettes se formaient aussi au bout de leurs doigts. (Page 380.) »

M. Binon, curé de Planzet, en France, pendant vingt-sept ans, à l'occasion de grands orages, a constamment observé les trois pointes de la croix du clocher paroissial enveloppées de flamme. *(Ibid.)*

En Allemagne, la sommité de la tour de Naumbourg était citée sous ce rapport comme une exception singulière et très-remarquable.

M. Sauvau, en 1783, publiait que le 22 juillet, la nuit étant orageuse, il avait aperçu pendant trois quarts d'heure une couronne de lumière autour de la boule du clocher des Grands-Augustins, à Avignon. *(Ibid.)*

M. Mouger, le 22 janvier 1778, à l'occasion d'un orage accompagné de pluie et de grêle, apercevait des aigrettes lumineuses sur plusieurs des sommités les plus élevées de la ville de Rouen. (Page 381.)

Arago, après avoir raconté ces faits, ajoute en finissant : « Il ne sera peut-être pas inutile de dire que par des circonstances atmosphériques toutes pareilles, du moins en apparence, que pendant des orages d'une égale intensité, les feux dont nous venons de nous occuper ont cependant, je ne dis pas seulement des intensités, mais des

*formes* dissemblables, que souvent ils ressemblent à des *aigrettes*, que parfois aussi leur lumière se trouve *concentrée en un petit globe*, sans aucune trace de jets divergents. *(Ibid.)* »

Ces deux diverses formes que présente la lumière électrique, bien qu'elles se manifestent, au dire du savant académicien, dans des circonstances en apparence identiques, prouvent cependant que la lumière tantôt jaillit de la terre, tantôt s'écoule de l'atmosphère sur la terre elle-même. Ces phénomènes sont identiques aux phénomènes que nous observons dans l'obscurité sur nos machines électriques et sur les points saillants des corps conducteurs qu'on en approche. La lumière est divergente, ayant la forme d'une aigrette ou d'une gerbe plus ou moins éblouissante, plus ou moins agitée sur la machine, tandis que sur les corps sur lesquels l'électricité de la machine s'écoule, le phénomène se trouve réduit aux proportions d'un point lumineux.

Il existe aujourd'hui encore des physiciens qui n'admettent, en aucun cas, sur la surface terrestre, l'existence de l'électricité libre. Pour eux, les faits que nous venons de rapporter ne paraîtront pas assez concluants. Nous en apporterons d'autres qui excluront tous les doutes.

« James Braid, chirurgien de Lead-Hills, le 20 février 1817, vers 9 heures du soir, revenait de sa campagne. Il vit tout à coup les oreilles de son cheval devenir lumineuses, et les bords de son chapeau semblaient être tout en feu. Quelque temps après, une pluie suivie d'une forte neige survint. Dès que le cheval fut mouillé, la lumière de ses oreilles disparut ; mais celle du bord du chapeau ne cessa que lorsque le chapeau fut entièrement pénétré d'eau. Avant que la pluie commençât, une nombreuse quantité de petites étincelles pétillaient dans toutes les directions vers le bord du chapeau et les oreilles du cheval. (PELTIER, *Recherches sur les trombes*, 2e partie, chap. 2, pris de la Bibliothèque univ., 1823, t. 22.) »

La nuit du 17 janvier 1817, dans un nombre de lieux appartenant à la côte orientale des Etats-Unis, on éprouva beaucoup d'orages accompagnés de pluie et de neige. Les éclairs se succédaient rapidement, mais on entendait peu de tonnerre. Les personnes qui se trouvaient alors en plein air, dans des endroits un peu élevés, virent les

bords de leurs chapeaux, leurs gants, les oreilles, la queue et les crinières de leurs chevaux, les broussailles de tous les chemins, des troncs d'arbres..... entourés de flammes vives, vacillantes et de différentes formes : elles produisaient un bruit semblable à celui de l'eau quand elle est prête à entrer en ébullition. Elles ressemblaient parfaitement à ces petites flammes qu'on voit voltiger la nuit autour d'un métal chargé d'électricité. (Peltier, *ibid.* Il l'a pris de la Bibliothèque univ., 1823, t. 22. Ce fait a été décrit originairement par les *Memor of American Acad.*)

Le marquis de Pavorolo a rapporté au P. Beccaria le fait suivant, dont il a été témoin après un grand orage, tandis qu'il se trouvait en garnison à Fenestrelle. La nuit était sombre et le ciel couvert d'un nuage uniforme. « Le contour du toit de l'église se montra tout à coup environné de flammes. Les poutres du pont-levis et les arbres de la campagne lançaient des gerbes de lumière. Tous les soldats en furent d'abord épouvantés. La sentinelle, voyant s'agiter sur l'extrémité du canon de son fusil une très-belle gerbe de lumière, saisie de frayeur, fit partir le coup, mais la lumière continua. (Beccaria, *Lettera à Monsig-Casati Vescoro di Mondori*, brochure de quelques pages.)

Peltier raconte un autre fait encore plus frappant observé par Th. Moren. « Vers la fin de janvier 1686, tandis qu'il se trouvait à l'occident de Winckel, à une demi-heure de distance de cette localité, s'éleva de terre une très-large flamme qui avait à peu près la vitesse de la foudre, mais par sa hauteur et par sa forme on l'aurait prise pour un incendie si sa rapide disparition n'avait démontré le contraire. Quelques instants après, une nouvelle flamme suivit, semblable en tout à la première et disparut à son tour. (*Ibid.*, pris de l'*Eph. natur.-curios.*)

Fournet, en 1867, a publié dans les journaux un certain nombre de faits de ce genre, qu'il a trouvés indiqués dans divers ouvrages scientifiques. Nous en citerons ici quelques-uns.

« En 1854, une illumination des rochers du Mont-Blanc fut observée par des voyageurs stationnant sur les Grands-Mulets (3,455 mètres de hauteur). Leurs vêtements étaient littéralement couverts d'étincelles, et lorsqu'ils exhaussaient les bras, les doigts devenaient phosphorescents. »

Un phénomène du même genre fut observé en 1841. Pendant l'orage toutes les pierres qui entouraient les explorateurs avaient leurs étincelles électriques, et pourtant la cime du Mont-Blanc aussi bien que le ciel étaient d'une sérénité parfaite. »

Ce fait mérite d'attirer l'attention du lecteur. Tandis que vers le bas de la montagne éclate un orage, l'électricité ne s'écoule pas par le sol, mais elle se dispose sur la montagne à la même manière que sur la machine électrique ou sur les corps de forme irrégulière : c'est-à-dire elle se porte de préférence sur les points les plus saillants.

« La neige couchée à terre, ajoute Fournet, n'est pas opposée à ces manifestations ; c'est du moins un fait qui ressort d'observations faites sur le col de la Jungfrau, le 10 juillet 1863. Au moment d'atteindre le col, la caravane fut assaillie par un fort coup de vent accompagné de grêle. Pendant la descente, la troupe se trompa de direction, et bientôt elle entendit un formidable coup de tonnerre suivi d'un sifflement partant d'un bâton. Toutes les cannes et les haches émettaient un son pareil quand même on les enfonçait dans la neige ; celle-ci faisait elle-même entendre un bruit analogue à la chute d'une vive ondée de grêle. Un des guides ôta son chapeau en s'écriant que sa tête brûlait. Ses cheveux étaient hérissés, et chacun éprouva des picotements et une sensation de chaleur au visage. Tous éprouvèrent un choc électrique plus ou moins violent. »

Ici le ciel est encore serein, il n'est question nulle part ni d'orage ni même de nuages. On sait que le tonnerre peut éclater sans nuages ; il est inutile d'insister ici sur la vérité de ce fait, bien connu des savants.

A l'est de la Jungfrau on arrive aux Grisons, toujours d'après le même récit. M. H.-B. de Saussure a fait une relation d'un voyage qu'il entreprit en 1765. Le 22 juin, il fit l'ascension du pic Suzley, montagne granitique dont le sommet s'élève à 2,300 mètres. Vers une heure du soir, les voyageurs furent assaillis par un grésil fin. Le froid augmentait, et à une heure trente minutes du soir, arrivés au sommet, le grésil fut plus abondant. M. H. de Saussure éprouva des douleurs dans le dos, et les bâtons chantèrent avec force en produisant un bruissement semblable à celui d'une bouilloire dont l'eau est sur le point d'entrer en ébullition. Le sol demeurait inerte et le ciel

était devenu gris dans toute son étendue, quoique inégalement chargé de nuages. Les cheveux et la barbe se dressaient ; l'électricité s'écoulait aussi fortement des bâtons et des habits.

» Dans les environs de Porentruy, au pied du Jura, près de Courtavon, se trouve, à 100 mètres au-dessus d'une vallée, l'antique château de Morimont. Le 25 août 1865, deux orages successifs s'y produisirent entre neuf heures et midi. A trois heures du soir, il en survint un troisième avec des nuages excessivement bas. Alors, l'électricité se manifestait d'une façon effrayante sur toute l'étendue des prés du voisinage ; les étincelles se succédaient coup sur coup sous la forme de rapides traînées lumineuses, courant sur les gazons au lieu d'être en l'air. Le bruit général était tel que les crépitations particulières ne se distinguaient en aucune façon. D'ailleurs il ne pleuvait pas, mais on se trouvait presque dans le nuage, et tout avait été mouillé par les averses de la matinée. Les orages de cette journée s'étendirent jusqu'à Lyon. (FOURNET, dans l'*Univers*, 29 octobre 1867, page 4, col. 1.) »

Le lecteur trouvera un grand nombre d'autres faits semblables dans les ouvrages cités d'Arago et de Peltier. Ceux que nous venons de décrire suffisent pour démontrer que dans certaines circonstances la lumière électrique jaillit réellement de la surface terrestre, et, par conséquent, que la tension de celle-ci, dans ces cas, prédomine sur la tension de l'atmosphère.

L'abbé Toaldo parle non seulement de gerbes de lumière, mais de flammes et de la foudre elle-même qui se sont, en plusieurs endroits, élevées de la terre, même sous un ciel qui n'était pas orageux. (TOALDO, *Giornali astro-meteorologici*, Venezia, vol. IV.) Le lecteur trouvera aussi dans les deux autres auteurs que nous venons de nommer plusieurs cas incontestables de foudres ascendantes. Il pourra consulter, en outre, le Ier vol. de l'*Electricité des météores de* BERTHOLON (seconde partie, première section, chap. IV. Paris 1787). Le P. Della Torre, dans son ouvrage de physique dont le titre m'échappe en ce moment, parle de foudres qui seraient sorties du Vésuve au moment des éruptions. William Hamilton a été témoin d'un fait semblable à l'occasion de l'éruption de cette montagne en 1779. (*Observations sur le mont Vésuve*, etc., Londres 1779.) Belli affirme la

même chose pour l'éruption de 1822. Il dit que des cônes de lave lancés par le Vésuve s'échappaient *frequenti saette come tanti fulmini.* (BELLI, *Corso elementare di Fisica.*)

Je puis rapporter ici une observation que j'ai faite moi-même à Salerne. C'était vers la fin du mois de septembre 1853. Je me trouvais par hasard entre 8,30' et 9 heures du soir près du rivage de la mer. L'air était calme, mais le ciel était uniformément couvert et faisait craindre la pluie ; il n'en tomba pas cependant de toute la nuit; il n'en était pas tombé non plus de toute la journée. A la distance de cinquante mètres de moi tout au plus, je vis jaillir soudainement de l'eau cinq ou six éclairs à la fois, qui s'entre-croisant décrivirent chacun un trait à zigzag de plusieurs mètres sans cependant produire aucun bruit sensible. Je n'étais pas encore revenu de la surprise que cette manifestation électrique avait produite sur moi, qu'un autre groupe de jets lumineux s'éleva de la même manière et du même endroit. Ce phénomène me parut si extraordinaire qu'il excita vivement ma curiosité. Malgré l'appréhension du danger qu'il pouvait y avoir à se tenir à si peu de distance de l'endroit où se formaient les éclairs, je me décidai à rester là. Le phénomène se reproduisit encore de la même manière et au même endroit jusque à sept à huit fois en 20 minutes, en conservant presque la même intensité, bien qu'à la fin le nombre des éclairs fût réduit à deux. Ces groupes d'éclairs se suivirent à des intervalles inégaux, d'une minute et demie environ au commencement, de plusieurs minutes vers la fin de l'observation. Au reste, les marins sont très-souvent témoins de ces sortes de manifestations.

En 1861, le soir du 18 du mois de juillet, j'observai un autre fait d'électricité terrestre encore plus remarquable. J'étais alors à Sarlat (département de la Dordogne), où j'habite encore. Le soleil, le matin de ce jour, s'était levé sans nuages, mais le ciel ne tarda pas à se voiler. Il se forma bientôt des nuages qui le couvrirent presque entièrement. Ces nuages n'étaient pas bien épais, puisque le soleil, plusieurs fois, parvint à les percer. Le temps était devenu lourd et fatigant de 9 à 10 heures du matin jusqu'au soir. Les mêmes phénomènes s'étaient presque identiquement présentés le jour précédent. Depuis le 12, le temps s'était montré d'une inconstance extraordi-

naire qui continua jusqu'au 19 (1). Vers les 7 heures de l'après-midi, la pluie tombait à une certaine distance de la ville en direction E-S-E au-delà des montagnes. Cette pluie venait d'un nuage isolé. L'arc-en-ciel parut pendant quelques instants, et une demi-heure après sa disparition, des éclairs commencèrent à se succéder à des intervalles de 30 à 40 secondes d'abord, et plus rapidement ensuite. De temps en temps, la foudre sillonnait l'atmosphère. Le phénomène fut borné d'abord à un point du ciel dans la direction du Cantal. Jusqu'à dix heures je n'entendis pas le bruit du tonnerre. A cette heure, l'air retentit d'un premier éclat suivi immédiatement de la pluie, qui tomba sur la ville et sur les collines qui l'environnent. Peu de moments après, les trois quarts de l'horizon étaient en feu. L'orage s'était approché, et la ville était devenue le centre de l'action électrique. Jamais je n'ai vu aussi près de moi une si vive coruscation! Le fluide jaillissait de toutes les parties les plus élevées des maisons, glissant sur les toits et disparaissant soudainement, le plus souvent sans bruit. Des gerbes de lumière de différentes dimensions apparaissaient çà et là, disparaissant d'un point pour apparaître dans un autre et disparaître de nouveau, et ainsi de suite. Plusieurs fois cependant, j'ai vu des jets lumineux rester dans un même endroit plusieurs secondes, parfois même plus d'une minute. Cette lumière était agitée, blanche mais non pas éblouissante. En général, ces manifestations lumineuses qui se faisaient sous mes yeux (parfois à la distance de quelques pas, car le fluide s'échappait souvent de la cour, immédiatement au-dessous de la chambre que j'habitais) arrivaient sans bruit sensible. La foudre elle-même, qui éclatait de temps en temps, ne produisait pas le bruit du tonnerre, mais les par-

(1) Il ne sera pas hors de propos de faire connaître les particularités plus remarquables que j'ai observées du 12 au 18. Le 12, la pluie tomba à plusieurs reprises, une dizaine de fois au moins dans la journée, dura peu chaque fois et fut de peu d'importance. Le ciel fut constamment parsemé de nuages très-variables qui avaient un mouvement rapide vers l'Est, dans la direction des montagnes du Cantal. Des phénomènes semblables s'étaient manifestés, bien que moins marqués, pendant les trois ou quatre jours précédents. Ce jour-là (12), vers huit heures du soir, se leva un vent très-violent de S-O. dans les couches inférieures de l'atmosphère, qui souleva des nuages de poussière et fit voler en éclats un certain nombre de vitres et emporta une cheminée. Il ne dura que 7 à 8 minutes avec cette intensité, ensuite il continua à souffler *très modéré*.

ties supérieures de l'atmosphère retentissaient d'un bruit presque continu, semblable à celui d'un grand nombre de tambours battants. Cet effet ne paraissait pas être occasionné seulement par la foudre, mais aussi par d'autres larges et nombreuses ondes de lumière dont l'œil ne pouvait supporter l'éclat. La foudre proprement dite se manifestait sur les hauteurs environnantes ; et bien qu'il ne fût pas souvent possible de connaître si elle sortait du sol ou des nuages, j'ai pu cependant plusieurs fois constater, à n'en pouvoir douter, qu'elle jaillissait des montagnes et allait se perdre dans l'air. Le ciel était uniformément couvert, en sorte que la lune, qui était dans son douzième jour, ne reflétait pas sur la terre la moindre clarté. L'écoulement de l'électricité continua jusqu'au matin. A minuit et demi cependant, lorsque je cessai de l'observer, il avait un peu diminué d'intensité. A quatre heures du matin les éclairs étaient moins fréquents, mais en moyenne plus vifs et accompagnés toujours de l'éclat du tonnerre. Le temps, toute la journée (19), fut lourd. Ce jour-là, ainsi que les deux suivants, il y eut, à plusieurs reprises, un peu de pluie. Le 21, au lever du soleil, la ville fut voilée par un brouillard, que le soleil perça et dissipa en moins d'un quart d'heure. Depuis cet instant, le temps se mit définitivement au beau.

D'après ces derniers faits surtout, on ne peut donc plus raisonnable-

Le 13, il n'y eut rien de particulier, excepté le même mouvement des nuages vers les montages du Cantal, la même inconstance du ciel et quelques gouttes de pluie à plusieurs reprises.

Le 14, il y eut orage et une averse très-forte, vent de S-O., éclairs et tonnerres. L'orage commença à huit heures et demie de l'après-midi, et dura jusqu'à 10 heures et demie environ. La nuit fut très-belle.

Le 15, il y eut un autre orage, mais moins intense que le précédent. Il éclata à 4 heures environ de l'après-midi, c'est-à-dire 4 heures plus tôt que l'autre. Vers les 6 heures il restait encore des nuages ; à 7 heures le vent du N avait entièrement balayé le ciel, qui continua à être beau toute la nuit.

Le 16, dans la matinée, pluie très-fine à plusieurs reprises, vent de S-O. comme les jours précédents. L'orage revint 4 heures plus tôt. Cette fois, ce n'a été qu'une forte averse accompagnée d'un vent d'une certaine violence, point de tonnerre ni d'éclairs. La pluie commença à 11 heures du matin et ne dura qu'une demi-heure. Le reste du jour, des cirrus et des cumulus détachés ont continué à errer dans le ciel.

ment mettre en doute que l'électricité ne s'échappe parfois de la surface terrestre (1).

Résumons-nous. Que l'électricité prédomine sur la terre ou dans l'atmosphère, ses effets doivent se manifester d'abord, et plus que partout ailleurs, sur les points les plus saillants du globe, comme sont les montagnes et les édifices les plus élevés. On connaît la théorie des pointes ou du moins on connaît leur effet. Les montagnes sont pour la surface d'un pays ce qu'un paratonnerre est pour une maison. Si la foudre éclate sur une maison, elle se jette sur le paratonnerre; de même, lorsque le tonnerre tombe sur un pays, il choisit de préférence les endroits les plus élevés, les montagnes, s'il y en a, ou les sommets des édifices, et dans les campagnes, les arbres. Lorsque la foudre va frapper d'autres objets et paraît s'éloigner de cette loi, c'est, comme le fait remarquer Arago, qu'il existe là des métaux ou en général des corps plus conducteurs;

(1) Y a-t-il jamais des éclairs sans tonnerre? Arago, appuyé du témoignage de plusieurs observateurs, entre autres de Dorta et de Lind, avait dès 1837 répondu affirmativement à cette question. Dorta, en quatre ans, avait observé à Rio-Janeiro 170 cas de ces sortes d'éclairs, et Lind, à Patna, aux Indes, 73 cas en une seule année. Un savant, n'ajoutant pas foi à ces observations, a essayé, tout dernièrement, de démontrer *à priori* que l'éclair et le tonnerre sont inséparables l'un de l'autre. (*Comptes-rendus*, v. 43, p. 816.) A la réponse victorieuse de M. Poey, qui en moins d'une année a été témoin de 51 éclairs sans tonnerre (*Comptes-rendus*, *ibid.*, p. 985), à nos propres observations décrites dans ce chapitre, nous ajouterons les paroles de M. Piddington; elles seules suffiront à trancher la question une fois pour toujours :

« Des décharges électriques continues, dit-il (que jamais n'a pu soupçonner un physicien européen), ne sont nullement rares dans les climats tropicaux et surtout dans les îles orientales. Dans la mer de Java, au large de la côte Sud de Bornéo, on peut dire, sans exagération, que les éclairs s'écoulent des nuages en cascades ou en colonnes, et par quatre ou cinq endroits à la fois! Dans la rade de Madras, derrière ou plutôt au-dessus de ces nuages transparents en forme de stratus ou de cirrus qui couvrent tout le ciel, les décharges de nappes d'éclairs sont si incessantes, quelquefois pendant des heures, qu'on peut en faire cette petite image: ils ressemblent, en vérité, à l'éclat du ver luisant ou de la mouche à feu! Je remarque que dans un article récent, mais auquel je ne peux renvoyer aujourd'hui, M. Faraday note un *éclairement éloigné des nuages* qu'il regarde, si je m'en souviens bien, comme une réflexion d'éclairs éloignés; mais les éclairs européens ne peuvent pas donner une idée de la terrible magnificence de ceux de l'archipel de l'Est et des mers de l'Est en général. (PIDDINGTON, *Guide du marin sur la loi des tempêtes*, trad. par Chardonneau. Paris 1839, p. 350.) »

en sorte que, continue-t-il, si l'on faisait des recherches, on trouverait la cause qui l'a fait dévier de sa route.

Nous l'avons, en outre, prouvé par la lumière qu'on a, en plusieurs circonstances, observée et qu'on aurait vue bien plus souvent encore, comme le remarque aussi le même savant, si on y avait pris garde. Cette lumière est plus généralement un effet du fluide qui s'écoule des nuages sur la terre, mais, dans plusieurs cas, c'est de l'électricité terrestre qui s'échappe dans l'atmosphère. Cela prouve que, bien que la terre soit assez bon conducteur de l'électricité, elle peut réellement posséder une tension électrique, et même une tension plus forte que l'atmosphère.

Nous avons eu soin de dire que d'ordinaire c'est la tension électrique de l'air qui l'emporte, mais même dans ce cas la terre est, elle aussi, *électrisée positivement*. S'il n'en était pas ainsi, la surface terrestre serait constamment foudroyée. Si la terre se trouvait à l'état négatif, comme l'ont supposé ceux qui défendent les vieilles hypothèses, le fluide ne s'élancerait pas, comme il arrive ordinairement, des nuages vers les hautes régions de l'atmosphère, mais il devrait se diriger toujours vers la terre. Si la foudre ne tombe que rarement, c'est parce que l'électricité terrestre et atmosphérique agissant comme deux forces contraires, le fluide de l'atmosphère s'élancera de préférence vers les espaces célestes. Dans nos climats tempérés d'Europe la foudre tombe rarement, très-rarement même. Arago fait ressortir ce fait, qui est très-frappant. Mais un fait encore plus frappant, c'est que dans les pays équatoriaux où les orages se présentent tous les jours pendant la moitié de l'année dans tout l'éclat de leur terrible majesté, la foudre tombe plus rarement encore ; elle est presque toujours dirigée de bas en haut, c'est-à-dire de la terre ou des couches inférieures de l'atmosphère vers les couches plus élevées. Lorsqu'elle tombe dans la plaine, elle va de préférence frapper les arbres les plus élevés. On peut lire à la fin du volume les réponses données à la trentième question de notre circulaire, on verra combien rarement la foudre est tombée dans ces parages. Mais on le verra encore mieux par les renseignements qui nous ont été donnés oralement par le R. P. Hus.

Ce zélé missionnaire, qui a habité la Guyane française pendant

douze ans, nous a assuré ne pas avoir vu tomber la foudre une seule fois. A Cayenne, la saison des pluies commence en novembre et dure sept mois continus. Il n'y a qu'une courte interruption pendant dix à quinze jours au mois de mars (été de mars comme on l'appelle dans le pays). La pluie est tous les jours accompagnée de terribles éclats de tonnerre. Le R. P. Hus a donc été témoin de 2,500 orages; si la foudre n'est pas tombée une seule fois vers la terre, elle était donc constamment dirigée vers les espaces célestes ou bien vers d'autres nuages. Si la terre était négative, on ne comprend pas pourquoi l'électricité choisit de préférence un nuage qui est tout à la fois un corps isolé, mauvais conducteur et plus ou moins chargé d'électricité.

# LIVRE III

## VENTS ET ÉLECTRICITÉ.

### CHAPITRE I

#### VENT PRODUIT PAR L'ÉLECTRICITÉ.

Les éclairs et le tonnerre ne sont pas les seuls phénomènes qui nous révèlent la présence de l'électricité. Il en existe un troisième négligé jusqu'à ce jour, et qui cependant est un effet des tensions électriques, plus immédiat et plus constant que les deux autres dont nous venons de parler. Ce phénomène est l'agitation do l'air. La lumière et le bruit ne se manifestent sur un corps conducteur électrisé qu'à l'instant où l'électricité a atteint une certaine tension qui lui permet de s'échapper dans l'atmosphère ; l'agitation de l'air, au contraire, a lieu dès lo premièr instant que l'électricité a commencé à s'accumuler sur le corps. Qu'elle reste sur un conducteur ou qu'elle s'en échappe, elle produit *toujours* une agitation dans l'air qui l'environne. Et ce qu'il y a de plus remarquable, cette agitation n'a pas lieu d'une manière confuse, mais dans une direction déterminée.

Si vous approchez des conducteurs ou du disque do la machine électrique en action le revers de la main, vous éprouverez une sensation singulière, une espèce de chatouillement semblable à celui qui serait produit par le frottement léger d'une houppe de soie ou d'édredon. Cette sensation est l'effet immédiat d'un véritable courant d'air qui s'établit entre votre main et la machine. Ce fait est parfaitement connu, même de ceux qui sont légèrement initiés aux sciences physiques ; mais les physiciens se sont bornés à le constater, sans y

attacher la moindre importance. Il a cependant une importance réelle qui le place, croyons-nous, au premier rang des phénomènes.

Si l'on s'arrête à considérer le vent électrique dans les proportions que nous pouvons lui donner dans nos laboratoires, comme ces proportions sont relativement très-minimes, malgré la frappante analogie qu'il présente avec les courants de l'atmosphère, ce phénomène n'excitera pas l'attention des savants. Mais si l'on ne perd pas de vue que partout où l'électricité s'accumule, elle doit nécessairement produire les mêmes phénomènes en proportion des tensions qu'elle possède, on voit de suite que le léger vent des machines électriques est un phénomène qui mérite de fixer au plus haut point l'attention du physicien.

Nous disons que l'électricité doit produire partout les mêmes phénomènes, car prétendre le contraire ce serait supposer à l'électricité atmosphérique des qualités opposées à l'électricité que nous pouvons artificiellement développer. Pouvons-nous raisonnablement supposer au sein des nues, devenue inerte, cette électricité qui est si active et si remuante sur nos appareils ? Serait-elle dans les hautes régions autrement constituée qu'elle ne l'est dans les plus basses couches de l'atmosphère ? Existerait-elle là sans mouvement, tandis que partout ailleurs le mouvement constitue son intime nature ? Non. Les effets de l'électricité doivent être essentiellement les mêmes n'importe sur quel point de l'espace, pourvu que les circonstances soient les mêmes. S'il en est ainsi, elle mettra donc en mouvement l'air libre des hautes régions aussi bien que l'air borné de nos laboratoires. Elle fera naître, là comme ici, des courants véritables, des vents proprement dits, sans autre différence que l'intensité.

Tant que les savants se bornèrent à considérer l'étincelle électrique en elle-même, on n'y vit qu'un fait curieux et amusant sans intérêt pour la science; mais lorsqu'on la compara aux phénomènes les plus redoutables de la nature, elle devint le point de départ qui conduisit à une des plus grandes découvertes.

Si Wal, Grey, Bergeret, Nollet, d'Alibard, de Romas, Franklin, s'étaient contentés de considérer l'étincelle électrique telle que la leur présentaient leurs faibles instruments, nous en serions encore à ne voir dans la foudre qu'une inflammation subite de matières

grasses ou d'émanations sulfureuses. De même si nous nous arrêtons à regarder le vent électrique en lui-même et si nous nous obstinons à ne voir aucune analogie entre lui et les vents qui agitent l'atmosphère, nous n'arriverons jamais à découvrir leur véritable origine.

Nul ne met en doute aujourd'hui l'identité parfaite de l'électricité artificielle de nos appareils avec l'électricité naturelle terrestre ou atmosphérique. La foudre, en effet, n'est qu'une étincelle électrique de grandes dimensions, que sa très-grande rapidité de mouvement nous présente sous l'aspect d'un ruban de feu. Mais aucune comparaison n'est possible entre les intensités des deux phénomènes, tant la disproportion en est grande. Et pourtant, répétons-le, ils ne diffèrent pas l'un de l'autre, puisqu'ils ont identiquement la même nature, et qu'ils sont l'effet immédiat d'une même cause.

Nous serions inconséquents si nous ne faisions pas un semblable raisonnement pour les autres phénomènes que l'électricité peut faire naître. Si l'étincelle que nous tirons de l'électrophore ou des machines électriques est une petite imitation des flots éblouissants de lumière qui inondent soudainement l'espace, nous avons droit de conclure que les vents excités par l'électricité dans nos laboratoires sont comme une miniature des terribles courants qu'elle engendre dans l'atmosphère. Si nous convenons que la nature du fluide est la même, nous serons nécessairement forcés d'admettre que tous les effets produits ou occasionnés dans l'air par l'électricité artificielle doivent aussi être occasionnés ou produits par l'électricité naturelle. Puisque nous sommes d'accord pour admettre que l'étincelle électrique qui se joue entre nos doigts peut devenir la foudre au sein de l'atmosphère, il faut que nous admettions aussi que le vent électrique qui est un souffle caressant entre nos mains peut devenir l'ouragan destructeur entre les mains de la nature.

Cette manière de voir se trouve confirmée par un nombre fort considérable de faits : le lecteur en trouvera plusieurs dans la suite de ce livre. Ici nous commencerons à lui faire voir l'électricité soufflant en l'air plus ou moins violemment, et donnant naissance à des courants véritables.

Le premier fait, nous le prenons des mémoires de Forbin. « Pendant la nuit (en 1696, par le travers des Baléares), il se forma tout

à coup, dit-il, un temps très-noir accompagné d'éclairs et de tonnerres épouvantables. Dans la crainte d'une grande tourmente dont nous étions menacés, je fis serrer toutes les voiles. Nous vîmes sur le vaisseau plus de trente feux Saint-Elme. Il y en avait un entre autres sur le haut de la girouette du grand mât qui avait plus d'un pied et demi de hauteur. J'envoyai un matelot pour le descendre. Quand cet homme fut en haut, il cria que ce feu faisait un *bruit semblable à celui de la poudre qu'on allume après l'avoir mouillée.* Je lui ordonnai d'enlever la giroutte et de venir, etc..... (Reboulet, *Mémoires de Forbin*, 1749, v. 2. — Arago, *Annuaire de 1838*, page 378.)

De Romas, dans les expériences qu'il fit pour constater l'efficacité des pointes métalliques et pour s'assurer de l'identité de l'électricité avec la foudre, a été témoin du phénomène du vent. « Le 7 du mois de juin 1753, après avoir tiré de l'extrémité inférieure du fil métallique élevé en l'air bon nombre d'étincelles et de larges rubans de feu, il commença à éprouver sur le visage une impression semblable à celle que produirait une toile d'araignée. Cette impression était sensible à plusieurs mètres de distance. L'électricité plus tard augmenta tellement que de l'extrémité du conducteur sortait *un souffle semblable à celui d'un soufflet de forge. (Mémoires des savants étrangers*, t. 2. — Figuier, *Découv. scientif. modernes*, v. 4.) »

Un autre fait semblable arrivait sur l'observatoire de Padoue au moment où on allait établir pour la première fois le paratonnerre. Les conducteurs étaient déjà en place, et on allait fixer définitivement la tige métallique, malgré un orage qui menaçait de fondre sur la ville. A midi un nuage sombre passait dans la direction de l'observatoire. L'éclair en jaillissait de temps en temps accompagné de tonnerre. Lorsque l'ouvrier détachait des conducteurs la tige, en la soulevant il en sortait *un vent très-fort. (Giornale de Toaldo*, v. 3.)

Le P. Beccaria, en rendant compte à Beccari, président perpétuel de l'Institut de Bologne, des expériences qu'il avait faites à Mondovi avec un cerf-volant, dit qu'en présentant à l'extrémité du fil conducteur une pointe, au lieu d'étincelles il obtenait une gerbe de lumière qui soufflait *très-fort.* (Beccaria, *Electr. terrestre-atin.*, lett. 8.)

On sait ce qui arriva à Pictet, à Jallabert fils et à Saussure en 1767 sur le Beven, montagne qui s'élève vis-à-vis du Mont-Blanc. Toutes les fois que Pictet voulait marquer sur une carte la position de quelque montagne, comme il levait le doigt pour l'indiquer à ses guides afin d'en connaître le nom, il se produisait à l'extrémité du doigt un frémissement semblable à celui qu'on éprouve en approchant la main de la machine électrique. Jallabert, qui avait un galon d'or à son chapeau, sentait autour de sa tête un bruissement effrayant, qui fut entendu de tous ceux qui eurent le courage d'en faire l'expérience. (SAUSSURE, *Voyages dans les Alpes*, v. 2.)

Nous pouvons donc conclure, non seulement de l'analogie mais d'après les faits, que l'électricité naturelle peut occasionner un vent, tout comme l'électricité de nos machines.

Romas avait élevé son cerf-volant à la hauteur de 160 mètres ; il en a obtenu un vent sensible à plusieurs mètres de distance. Nous pouvons déduire de ce fait qu'on obtiendrait des résultats plus surprenants, si à toute autre condition égale l'expérience était faite à une hauteur plus grande.

Quels qu'ils soient cependant, les moyens que nous employons et les soins que nous pouvons apporter dans l'exécution de ces expériences, les résultats que nous en aurons ne seront qu'une image bien pâle des phénomènes produits au sein de l'atmosphère par les forces libres de la nature Volta, en parlant de l'action du paratonnerre sur l'électricité des nuages, dit admirablement : « Un orage peut être comparé à un océan d'électricité; les moyens dont nous pouvons disposer pour la disperser ne sont que des rigoles par lesquelles on essayerait de dévier les eaux de la mer. Les moyens les plus efficaces que nous pouvons inventer ne sont que des ressources bien mesquines contre les forces irrésistibles de la nature. » (VOLTA, *Lettera 5 al prof. Lichtemberg*, t. 1, parte 2, Firenze 1816.)

De même, les vents qu'on peut obtenir à l'extrémité des conducteurs plus ou moins élevés dans l'air ne seront qu'en raison de leur élévation et surtout en proportion de leur surface. Nous raisonnerions mal si de la petitesse des résultats obtenus par nos expériences nous voulions déduire quelque conséquence défavorable à la théorie qui fait de l'électricité la cause principale des courants de l'atmo-

sphère. Pour que notre raisonnement soit juste, il faut ne pas perdre de vue les propriétés de l'électricité elle-même ni les quantités surprenantes qui s'élaborent naturellement et qui sont constamment mises en jeu à la surface de notre globe et dans la masse gazeuse qui l'enveloppe. Si l'on tient compte de ces circonstances, on sera forcé d'admettre que l'électricité peut engendrer, au sein des nues, dans l'air, sur la surface de la terre et sur la mer, non seulement un vent quelconque, mais les plus terribles agitations qui, de temps en temps, bouleversent la grande masse aérienne et qui causent sur la surface du globe tant de désastres !

D'un autre côté, si l'on réfléchit que la cause qui développe ces quantités étonnantes d'électricité agit à peu près d'une manière constante sur une partie ou sur une autre de notre globe ; si l'on réfléchit que les nuages qui existent presque toujours quelque part dans l'atmosphère sont des corps capables d'en conserver dans leur sein une quantité sans comparaison plus grande que les corps conducteurs à surface égale, parce qu'ils se comportent comme de mauvais conducteurs ; si l'on réfléchit, de plus, que les nuages peuvent se trouver à de grandes distances de la terre, c'est-à-dire loin des corps sur lesquels l'électricité peut se décharger ; si l'on considère, dis-je, tout cela, on sera contraint d'admettre avec nous que non seulement l'électricité *peut* engendrer, mais qu'elle *engendre* constamment dans l'atmosphère des courants véritables.

---

## CHAPITRE II.

### DES SIGNES ÉLECTRIQUES DES VENTS ACCIDENTELS A CIEL SEREIN.

Nous venons de voir que l'électricité dans l'atmosphère donne naissance à de vrais courants, à des vents proprement dits; voyons maintenant si les vents sont ou non tous accompagnés d'électricité. Nous allons commencer notre analyse par les vents qui soufflent à ciel plus ou moins serein.

Saussure a affirmé d'une manière générale que les vents, loin d'augmenter les tensions électriques dans l'atmosphère, doivent au contraire la diminuer, parce que, d'après lui, en agitant les différentes couches d'air, ils finissent par les mettre toutes en contact avec le sol, et par conséquent ils font diminuer, s'ils ne dissipent entièrement, toute l'électricité qu'elles possédaient. Nous convenons que les vents doivent disperser souvent l'électricité; mais nous ne pourrions en convenir d'une manière générale. Car d'abord, en supposant qu'il en soit ainsi pour les courants de surface, c'est-à-dire pour les courants qui s'étendent aux couches en communication avec le sol, il ne doit pas en être de même pour les autres.

En outre, Saussure affirme avoir, dans ses observations sur les Alpes, obtenu une fois de l'électricité par un vent du N. et le jour suivant par un vent du S. Voici comment il s'exprime : « Le 16 février dernier (1), j'avais porté mon électromètre armé de son petit conducteur aux bords des hautes falaises qui sont au-dessus de l'Arve, entre Champel et Conches. Le soleil qui n'était pas trop vif, mais qui brillait pourtant par intervalles, réchauffait les terres de ces fa-

(1) C'est le mois de février 1785, époque de l'invention de son électromètre, car trois paragraphes avant il dit : « J'écris ceci en juillet, six mois après l'invention de mon électromètre. »

laises qui sont escarpées du côté du midi et en élevait des vapeurs ; en même temps un petit air de *bise* venait dissoudre ces vapeurs à mesure qu'elles s'élevaient au-dessus du niveau de la terre. Ces circonstances étaient donc très-favorables à la production de l'électricité, et elle avait effectivement la plus grande force que je lui ai jamais vue par un temps serein. Le lendemain, à la même heure, le soleil était plus vif, mais il ne régnait point de bise qui vînt dissoudre ces vapeurs dans leur ascension lorsqu'elles s'élevaient au-dessus de la falaise; il soufflait au contraire *un petit vent du S.* qui donnait contre cette falaise et qui accompagnait les vapeurs dans leur ascension, en sorte qu'en sortant de la falaise elles ne passaient pas comme la veille d'un air humide et saturé dans un air sec. Aussi l'électricité était-elle beaucoup plus faible; les petites boules ne divergeaient que d'une ligne et $\frac{3}{4}$, et l'électromètre ne montrait aucune électricité lorsqu'on le dépouillait de son conducteur. Il est vrai que ce jour-là l'électricité était partout moins forte que la veille : en rase campagne les petites boules ne s'écartaient que d'une ligne. (SAUSSURE, *Voyages, etc.*, vol. 3, chap. 28, § 833.) »

De cette observation de Saussure, nous croyons pouvoir déduire l'existence d'un lien intime entre le vent et l'électricité; car lui-même attribue à l'absence du vent la diminution de tension observée le jour suivant. Il est vrai que, d'après le savant naturaliste, la bise n'agissait que comme cause occasionnelle en faisant dissoudre et dissiper les vapeurs. Quoi qu'il en soit, il est certain que l'électricité existait avec le vent, mais nous avons sujet de mettre en doute que la présence du fluide fût occasionnée par la disparition des vapeurs. Car d'abord les vapeurs en passant à l'état élastique devraient enlever à l'air une partie de son électricité plutôt que de lui en céder. En outre, le jour après, lorsque les vapeurs n'étaient ni dispersées ni ne subissaient aucun changement, l'électricité se trouvait cependant encore avec le *petit vent du S.;* la tension était faible, il est vrai, mais ce jour-là elle était très-faible partout. Et il devait, d'après nous, en être ainsi, car les vents du S-O. et en général les vents qui apportent la pluie doivent laisser passer plus ou moins au sol l'électricité, contrairement aux vents du N. qui sont les plus électriques parmi les vents de no-

tre hémisphère soufflant à ciel plus ou moins serein, parce que l'air qu'ils agitent est un air sec.

M. Palmieri, dans un mémoire sur certaines expériences faites pendant douze jours à Portici, près de Naples, dit avoir obtenu une fois *de fortes tensions positives* par un vent dont il n'indique pas la direction. Dans un autre mémoire, où il rend compte d'autres expériences faites trois ans après celles de Portici, il constate l'existence de l'électricité avec des vents de différentes directions, et particulièrement avec les vents de N-E. et de N-O. qui lui ont donné des tensions plus fortes que les autres. Et, plus loin, il dit avoir trouvé les forts vents du N. souvent à ciel serein accompagnés d'une telle quantité d'électricité qu'elle égalait celle des orages.

J'apporterai ici ses propres paroles d'un autre passage qui fait suite à ceux dont nous venons de donner le sens, par « le vent très-fort, dit-il, qui a soufflé avec tant de furie, particulièrement du 19 au 20 octobre passé (1852), qu'il a déraciné des arbres très-robustes et emporté des lames de plomb du toit de l'observatoire, l'électricité a été presque toujours positive ; et non seulement je l'ai vue *augmenter avec la force du vent,* mais elle a donné parfois des étincelles à conducteur fixe, tandis que le ciel était d'un azur très-pur et sans le moindre nuage. Les rares fois que j'ai osé monter sur la petite terrasse avec l'électromètre de Peltier, cet instrument employé de la manière ordinaire n'a pu me donner aucune mesure parce que après un grand nombre de fortes variations, l'aiguille s'arrêtait à 90°. J'ai vu seulement avec de violents orages autant d'électricité, mais jamais je ne l'ai vue continuer aussi longtemps.

» On ne peut pas dire que cette abondance d'électricité provenait de ce que l'air étant sec donnait plus de sensibilité aux appareils parce qu'au moment du maximum des phénomènes dont je parle, la différence entre les deux thermomètres du psychromètre d'August était de 3°. Seulement le thermomètre mouillé marquait 5°, par exemple, l'autre en indiquait 8°, et le baromètre était à 711$^{mm}$. La basse température aura pu avoir sa part dans ce phénomène ; mais, ni la sécheresse, ni la température ne suffisent pas pour nous expliquer l'existence de tant d'électricité à ciel serein. (PALMIERI. *Studi meteorologici fatti sul R. osservat. Vesuv. di Napoli 1853.)* »

Comme on le voit, ici l'électricité ne peut pas être mise sur le compte des vapeurs, puisque le ciel était très-pur ; donc, l'interprétation de Saussure n'est pas bonne. On ne peut, par conséquent, attribuer au passage des vapeurs à l'état élastique l'électricité qu'il a obtenue. Il n'est pas non plus permis d'affirmer que la sécheresse de l'air donne plus de sensibilité aux appareils, car, toute autre condition égale, plus l'air est sec, moins il viendra d'électricité aux appareils. parce que l'air est d'autant moins bon conducteur qu'il contient moins de vapeurs d'eau.

En outre, relativement à l'expérience de M. Palmieri, à la bonne raison qu'il donne pour ne pas attribuer l'électricité à la sécheresse de l'air, on peut ajouter que dans les climats d'Italie, et surtout dans celui de Naples, le ciel se trouve souvent dans les mêmes conditions ; pourquoi donc, dans les observations ordinaires avec un ciel pur et par un air sec, mais sans vent, n'a-t-on pas obtenu des tensions égales à celle dont nous venons de parler ?

Il nous est donc permis d'affirmer, ce nous semble, que les vents, ou du moins certains vents qui soufflent à ciel serein, possèdent de l'électricité. Nous ne possédons pas sur ce point d'autres observations positives, car aucun météorologiste, que nous sachions, ne s'est directement occupé d'explorer l'électricité des vents, moins encore des vents à ciel serein. Il ne nous est donc pas possible de citer un plus grand nombre de faits, de la nature de celui dont nous venons de parler ; mais si l'on entreprenait des observations comparées, nul doute pour nous qu'on obtînt à égalité de conditions, pour les vents du N. du moins, des résultats analogues à ceux de M. Palmieri.

On pourrait m'objecter que bien qu'on n'ait pas fait des observations directes, les météorologistes auraient cependant dû trouver l'électricité toujours plus abondante lorsque le vent soufflait au moment de l'expérience. Nous avons déjà donné plus haut quelques mots de réponse à cette difficulté ; nous allons y répondre plus directement.

Sans doute, si on avait trouvé l'électricité constamment associée à toutes les agitations de l'atmosphère, on n'aurait pas tardé à entrevoir un lien de dépendance intime entre ces deux phénomènes. Depuis bien longtemps la météorologie serait sortie des langes qui

l'enveloppent encore. C'est malheureusement cette absence des signes électriques dans la plupart des courants atmosphériques qui a tenu jusqu'ici la science en échec et l'a fait marcher dans la voie des hypothèses mal établies. Cependant, cette absence des signes électriques n'est pas une difficulté sérieuse ; car, si nous ne nous trompons pas, ce fait négatif non seulement n'est pas en contradiction avec les enseignements de la science sur les mouvements électriques, mais il est entièrement conforme aux lois connues de l'électricité statique.

En effet, pour qu'un corps donne des signes d'électricité, il ne suffit pas qu'elle y existe ou qu'elle y passe, il est absolument nécessaire que le fluide y soit condensé, qu'il exerce en d'autres termes une tension quelconque ; car, comme nous l'avons déjà fait remarquer ailleurs, les indications électrométriques n'expriment pas les quantités, mais uniquement l'excès des tensions. L'électricité pourra donc passer, abondamment même, dans un corps ; si elle y passe sans obstacle, sans éprouver de résistance, elle ne donnera lieu à aucun phénomène qui en révèle la présence. Si vous mettez en communication avec la machine électrique en action la boule d'un électromètre, en sorte que cette communication ne s'arrête pas à la boule, mais qu'elle aille se terminer au sol, nous l'avons déjà dit, l'électromètre restera insensible, malgré la plus ou moins grande quantité d'électricité que la machine lui transmet ; c'est que, vous ne l'ignorez pas, quelle que soit cette quantité, comme elle ne peut s'accumuler sur la boule de l'appareil, elle ne peut y manifester sa présence. La même chose se passe pour un certain nombre de vents.

Supposons que l'électricité se soit accumulée sur un endroit quelconque de l'atmosphère ou sur un point quelconque de la surface terrestre, et qu'elle ait acquis une tension suffisante pour vaincre la résistance du milieu, le fluide commencera à se disperser en choisissant de préférence les endroits qui lui opposent moins de résistance ; si dans sa marche il rencontre la tige d'un électromètre, les indications que celui-ci vous donnera seront d'autant plus faibles que le fluide rencontre moins de résistance dans le milieu qu'il traverse. Or, s'il arrive que l'électricité rencontre les couches d'air chargées de vapeurs, comme elle ne trouve aucune difficulté à s'écouler, elle

arrivera à l'électromètre sans tension, et, par conséquent, l'indication électrométrique sera nulle.

Voilà pourquoi les vents bien humides paraissent ne pas être accompagnés d'électricité. Les signes électriques des vents humides, lorsqu'ils en donnent, doivent être en proportion très-faibles et d'autant plus qu'à égalité de pression et de température, la quantité de vapeurs d'eau est plus grande. Si à l'humidité de l'air vient s'unir une température un peu élevée, comme, dans ce cas, la conductibilité de l'air augmente, les électromètres ordinaires ne seront nullement influencés par un vent soufflant dans ces conditions. Si, au coutraire, les circonstances ne favorisent pas l'écoulement de l'électricité, lorsque celle-ci aura acquis une tension quelconque, les appareils doivent nécessairement vous donner des signes proportionnels à la tension elle-même et à l'intensité du vent. Et, si l'air est sec et la température peu élevée, les tensions électriques accusées par les électromètres pourront être considérables. Voilà pourquoi Saussure et M. Palmieri ont obtenu par des vents du N. des indications très-fortes; car, en Suisse et en Italie, ces vents sont justement les plus secs.

J'ai dit que les indications électrométriques doivent être en proportion avec la force du vent; car le vent troublant plus ou moins la tranquillité de l'air, il ne peut ne pas troubler plus ou moins aussi son état électrique. En effet, supposez l'atmosphère dans les conditions favorables à la conservation de l'électricité, le vent, faisant affluer plus ou moins violemment l'air dans une direction, doit constamment empêcher l'équilibre électrique; l'électromètre doit par conséquent donner des indications en proportion de la violence du vent.

Quant aux vents humides, nous ajouterons que si l'on faisait des observations dans des lieux élevés, lorsque ces vents ne viennent pas de trop loin, ils donneraient eux aussi des signes d'électricité.

Le P. Beccaria l'affirme formellement. Voici comment il s'exprime vers la fin de sa deuxième lettre au baronnet Pringle, en lui rendant compte d'observations directes faites par lui-même pendant trois mois (dans les jours de sérénité), c'est-à-dire depuis la moitié d'avril jusqu'au mois de juillet 1775. « Les vents d'E. (*levante*), peu -

dant ces trois mois, dans les jours de sérénité bien établie, ici en Gargonza, commencent à souffler très-fortement vers midi. Trois ou quatre heures après, lorsqu'ils tournent au S-E (*scilocco*), ils deviennent humides d'une manière remarquable ; même en avril et mai, mois où l'électricité se révèle toujours lentement, lorsque ces vents se levaient, ils ont parfois augmenté d'une manière surprenante la fréquence des étincelles ; de telle façon que les boules de l'électromètre qui avaient besoin de vingt ou trente secondes pour acquérir la force de s'approcher de mon doigt, lorsque ce vent humide commençait à se lever, me donnaient des étincelles à chaque seconde. Outre cela, ces vents humides ont en même temps apporté une tension particulière en faisant diverger les boules de 8 à 10 degrés ; mais cela n'est arrivé que rarement et lorsque le vent commençait à se déclarer, ce qui n'a pas duré longtemps. Il est arrivé parfois à Superga que les vents et particulièrement un vent très-humide a fait sonner pendant un certain temps un timbre. Ce fait est peut-être dû à la longueur du fil explorateur et à l'élévation de la colline (1). »

Voilà donc des vents humides donnant des signes bien sensibles d'électricité, des vents même très-humides qui électrisent rapidement les conducteurs et qui donnent une tension beaucoup plus forte que les tensions qu'on obtient à air calme, puisque dans les écrits du P. Beccaria je ne trouve pas que lui ou le prieur de Superga, qui en son absence faisait les expériences, aient dans aucune autre occasion obtenu le tintement du timbre. Si donc les vents humides sont explorés dans des lieux élevés, lorsqu'ils sont nés à peu de distance de l'observateur, il est possible qu'ils donnent des signes d'électricité.

Il est temps d'ajouter ici une autre réflexion importante que le lecteur ne doit pas perdre de vue. C'est que lorsque nous affirmons que les vents sont les effets immédiats d'actions électriques, nous

(1) Le timbre dont il est question était disposé à l'intérieur d'une chambre, à la façon des carillons électriques ; il était en communication avec un long fil métallique isolé et tendu horizontalement à l'air libre. Superga est une ancienne abbaye, sur une montagne, à quelques milles au Nord-Ouest de Turin.

n'entendons pas cependant prétendre que l'électricité doit accompagner toujours tous les courants de l'atmosphère en tous les points de leur trajet. Car, il suffit que l'électricité agisse comme cause première du mouvement, et il n'est nullement nécessaire qu'elle l'accompagne jusqu'à sa dernière limite. Bien des causes peuvent concourir à faire disperser l'électricité le long de la route suivie par le vent ; nous en avons indiqué quelques-unes en parlant des vents humides. Mais on peut dire en général pour toute espèce de vent, que s'ils trouvent des corps qui permettent à l'électricité de s'écouler au sol, les signes qu'on obtiendra seront en raison inverse de la surface conductrice avec laquelle ils viennent en contact. Si l'on veut donc faire des expériences sur les vents quels qu'ils soient, même si ce sont des vents secs, il faut que le lieu de l'observation soit bien élevé ; et, même dans ce cas, les vents qui se manifestent dans les couches supérieures correspondant au lieu d'observation mais ne s'étendant pas aux couches inférieures de l'atmosphère, donneront des signes électriques plus forts que les autres qui descendent jusqu'à la surface terrestre. Voilà, je crois, pourquoi M. Palmieri a obtenu des résultats surprenants sur l'observatoire du Vésuve, qui est à plus de mille mètres au-dessus du niveau de la mer (1).

Pour continuer notre raisonnement, nous disons donc qu'il n'est pas nécessaire que tous les vents portent avec eux de l'électricité ; il suffit qu'elle ait mis d'abord en mouvement l'air jusqu'à une certaine étendue pour que ce mouvement se propage sur d'autres points plus ou moins éloignés. Les vents chauds d'Afrique, qui de l'intérieur des déserts se dirigent vers les côtes, peuvent communiquer le mouvement à de grandes colonnes d'air à une distance considérable, après que leur température s'est de beaucoup abaissée.

Il est arrivé parfois que des bateaux qui naviguaient au large, à la distance de 200 lieues des côtes de la Guinée, ont eu leurs voiles couvertes d'une poussière fine qui leur était apportée par un vent

(1) L'altitude du cône du Vesuve est à 1,200 mètres, nous ne pourrions indiquer au juste l'élévation de l'observatoire, mais la différence de niveau ne peut dépasser 200 mètres.

frais soufflant de ces côtes. Ce vent cependant ne pouvait être que l'harmatan, qui, comme nous l'avons dit, prend son origine dans le continent septentrional africain ; les poussières déposées sur les voiles en sont la preuve la plus convaincante. Telle est d'ailleurs l'opinion des savants. Si donc l'harmatan, dont la pression est ordinairement modérée, peut, même après s'être refroidi, transporter à de grandes distances des nuages de poussière, pourquoi l'électricité, dont l'action est si puissante au sein de l'atmosphère, ne pourrait-elle pas faire naître un courant s'étendant beaucoup plus que ne s'étend son action directe ?

Au reste, pour démontrer d'une manière irréfragable que l'électricité peut ne pas accompagner un vent, bien que ce vent soit occasionné par une action électrique, il suffira du raisonnement que nous allons faire, en dehors même de toute autre considération.

Tout courant, quelle que soit sa nature, consiste dans un transport continu d'air vers un endroit déterminé ; chaque vent produit, par conséquent, une condensation d'air dans un sens et une raréfaction dans un autre. Cela posé, supposez qu'un vent quelconque, quelle que soit la cause qui lui donne naissance, commence à souffler dans l'atmosphère ; je dis que ce vent ne pourra ni continuer ni cesser sans faire naître à son tour un courant contraire. Tant l'équilibre des pressions que la continuation du vent demandent un remplacement de l'air aux endroits où la raréfaction s'est opérée. Par la même raison, l'air condensé doit nécessairement se déverser quelque part. Il est donc incontestable qu'un vent ne peut ni naître ni continuer dans l'atmosphère sans donner lieu à une circulation d'air continue ; ou, en d'autres termes, tout courant doit être *inviolablement* et *constamment* accompagné d'un contre-courant dans une direction plus ou moins opposée. Les contre-courants, tant de fois constatés par les marins et les météorologistes, ne sont pas des faits particuliers, ce sont *des faits généraux* qui ne souffrent pas d'exception. Il sera souvent impossible d'en constater l'existence, mais on n'a pas pour cela le droit de la révoquer en doute. Nous croyons inutile pour le moment d'insister davantage sur ce point, qui ne nous sera pas contesté. Nous y reviendrons pourtant au livre dernier.

Après cela, on ne doit plus être surpris qu'un vent ne montre pas

des traces d'électricité, car ce vent pourra être par hasard un contre-courant. Dans les anciennes théories, on considérait les courants de surface comme des courants directs, et les courants supérieurs contraires au vent de surface étaient appelés contre-courants. Nous verrons ailleurs que, d'après notre manière de voir, bien qu'il soit vrai que souvent les courants de surface sont des vents directs ou, disons mieux, des vents primitifs, ils ne le sont pas cependant d'une manière générale.

Qu'il nous soit permis, avant de finir ce chapitre, de revenir sur un fait que nous avons déjà signalé ailleurs. Le lecteur donnera à ce fait la valeur qu'il lui plaira; quant à nous, nous croyons qu'il prouve assez notre thèse.

Lorsque une aiguille légère, suspendue à un fil fin de soie sans torsion, dans un récipient en verre entièrement fermé et à l'abri de tout courant extérieur, et qu'un vent commence à souffler, ce vent trouble les mouvements de l'aiguille. Toutes les fois qu'une bouffée de vent arrive, l'aiguille éprouve un mouvement brusque, mais ce mouvement précède les bouffées. Ce phénomène se présente fort nettement lorsque le vent ne souffle pas d'une manière continue mais à des intervalles qui laissent un certain calme à l'atmosphère; en sorte qu'on peut prédire avec certitude les bouffées du vent par les déplacements de l'aiguille.

Cette action des vents n'est pas seulement sensible à une aiguille de cuivre, d'argent ou de verre, mais aussi à une aiguille astatique. Pourvu que celle-ci ne soit pas magnetisée à saturation, elle est influencée par le vent à peu près de la même façon que les autres. Comme ces mouvements s'accomplissent d'une manière très-brusque et précèdent les bouffées du vent, ils ne pourraient être attribués à des courants d'air. D'après nous, et nous aimons à le répéter, ils sont l'effet d'une action électrique.

---

## CHAPITRE III.

### ÉLECTRICITÉ DANS LES VENTS DES ORAGES.

Il sera moins difficile de démontrer la présence de l'électricité et son action immédiate dans les vents qui soufflent pendant tout le temps des orages, depuis les premiers instants de leur formation jusqu'au moment de leur disparition. Le seul exposé des faits suffira pour démontrer que ces vents sont des effets immédiats d'actions électriques.

Nous ne dirons rien des manifestations de ces actions par la lumière et par le tonnerre, car l'idée d'orage fait naître de suite l'idée d'éclair et de tonnerre. Il n'y a pas d'orage sans qu'il existe tout à la fois du vent, de la pluie, des éclairs et du tonnerre.

Il se passe à la surface de la terre pendant les orages, et souvent avant même qu'ils se soient formés, d'autres phénomènes accompagnés de circonstances de telle nature que l'électricité seule peut nous les expliquer. Nous en parlerons en dernier lieu. Maintenant nous commencerons par montrer le rapport intime qui existe entre le vent et les mouvements plus ou moins rapides des nuages, et pour faire voir, en même temps, que son augmentation, son changement de direction et toutes ses variations sont intimement liés aux différentes phases que présente le nuage orageux, centre et foyer de la tempête.

Les météorologistes se sont depuis longtemps aperçus que tous les vents n'agissent pas d'une même manière contre l'air qu'ils mettent en mouvement ; les uns les poussent dans le sens de leur direction, les autres les font marcher en sens contraire ; les premiers sont des vents de *condensation* ou *d'impulsion*, les seconds sont des vents de *raréfaction* ou *d'aspiration*.

On se rendra compte de ces deux espèces de vents, en faisant at-

tention à ce qui se passe dans un soufflet ordinaire. Lorsque vous dilatez le soufflet, l'air extérieur s'y introduit par la soupape, et lorsque vous le comprimez, l'air intérieur en sort par le tuyau. Dans le premier cas, vous avez un vent *d'aspiration* ou de *raréfaction ;* l'air du soufflet étant raréfié, l'air extérieur immédiatement en contact avec lui s'y précipite ; il s'ensuit là aussi une raréfaction. Une seconde couche d'air suit la première, une troisième vient successivement prendre leur place, et ainsi de suite jusqu'à une certaine limite. L'air marche donc vers le lieu où se fait l'aspiration ; c'est là aussi qu'il s'arrête ; la cause du mouvement de cet air se trouve, par conséquent, *au terme de la course.*

Dans le second cas, vous avez un vent de *condensation ;* en comprimant l'air du soufflet, la première couche d'air en contact avec le tuyau est comprimée à son tour ; celle-ci comprime l'autre plus éloignée, et ainsi de proche en proche jusqu'à la limite du vent. Contrairement à ce qui avait lieu tout à l'heure, l'air est maintenant poussé, et marche en s'éloignant toujours de la cause qui le met en mouvement ; celle-ci se trouve donc à *l'origine du mouvement* lui-même.

Si l'on fait attention aux diverses phases d'un orage, on constatera l'existence *successive* de ces deux vents. Tant que l'orage ne s'est pas formé, c'est un vent *d'aspiration* ou de *raréfaction* qui prédomine, et lorsque l'orage éclate, c'est généralement un vent de *condensation* qui se déclare (1).

Nul ne s'est appliqué avec plus d'assiduité et de soin que le P. Beccaria à l'étude des phénomènes électriques de la terre et de l'atmosphère ; il y a employé quinze années entières de sa vie, et il nous a laissé dans plusieurs lettres les précieux résultats de ses expériences. Dans différents endroits de ces lettres, il constate l'existence de ces deux vents aux deux phases principales de tous les orages, soit qu'ils arrivent à se former, soit qu'ils se dissipent avant leur complète formation.

(1) Nous n'entendons pas ici rendre compte au lecteur de la formation des orages. Il en sera parlé plus loin dans un autre chapitre. De plus, nous comptons revenir une dernière fois sur cette matière dans un autre ouvrage, lorsqu'il sera question de la formation et de l'élévation des nuages.

Voici ce qu'il dit dans la lettre 15e à Beccari (proposition 3e), après avoir fait la distinction entre le corps du nimbus et les nuages sécondaires : « Du corps du nimbus *sort tout autour un vent* proportionné à la vitesse avec laquelle les nuages secondaires *(ascitizi)* se précipitent vers le nimbus. Ce vent est plus fort ou plus faible, selon que le nombre des nuages qui vont se réunir au nimbus est plus ou moins grand, et selon qu'ils y vont plus ou moins rapidement (1). »

Comment expliquer ce fait sans recourir à une action de l'électricité? Le vent sort du nimbus, et non pas d'un endroit seulement, mais de tous côtés, et les nuages secondaires vont contre le nimbus pour s'y arrêter; c'est donc un vent d'aspiration. Nous avons, au premier livre, prouvé, croyons-nous, que la différence de température occasionnée dans l'air par les causes ordinaires est insuffisante à engendrer des mouvements sensibles.

En outre, la différence de température devrait donner plutôt naissance à un vent en sens contraire. Le nimbus est plus froid que tout autre point du ciel, puisque les vapeurs s'y condensent, et que le nimbus lui-même s'épaissit ; on devrait donc avoir toujours dans le nimbus un vent de condensation ; l'air devrait être poussé loin du nimbus, au lieu d'être rappelé vers lui.

De plus, on ne peut attribuer le mouvement des nuages vers le nimbus à un vent extérieur venant de loin contre lui, car d'abord le P. Beccaria affirme non seulement que le vent sort du nimbus, mais qu'il en sort de tout côté. C'est d'ailleurs un fait incontestable qu'on ne pourrait raisonnablement mettre en doute ; tout physicien

(1) Il n'est pas toujours facile de rendre parfaitement en français la phrase du P. Beccaria ; elle est très-souvent entortillée, parfois peu correcte, et laisse à désirer sous le rapport de la clarté. Comme une traduction littérale est impossible, et comme, d'un autre côté, je tiens à ce que le lecteur apprécie par lui-même la force et la vraie valeur des passages remarquables que je lui mettrai sous les yeux, je les lui donnerai en note dans la langue originale. Voici le passage que je viens de citer : Dal corpo del nembo si spande in giro un vento proporzionato alla velocità con cui i delli nuvoli ascitizi si precipitano verso il nembo, più forte o più leggero secondo che più o meno nuvoli si vedono andarsi a congiugnere col nembo, e secondo che si vanno a congiugnere con quello più o meno rapidamente. (*Lettera 15 a Beccari*, proposizione 3a.)

tant soit peu porté à l'observation a dû remarquer des nuages se lever de différents points de l'horizon, et venir avec plus ou moins de précipitation vers le foyer de l'orage, et finir par faire corps avec lui.

En second lieu, on a pu remarquer une frappante particularité. Lorsque les divers nuages sont arrivés près du corps de la nue orageuse, ils ralentissent sensiblement leur mouvement, et s'arrêtent au bord de la nue elle-même sans passer plus loin. Si le mouvement provenait d'un vent extérieur à la nue orageuse, arrivés aux bords de celle-ci, les nuages secondaires devraient continuer leur chemin, s'entremêler au nimbus, et l'entraîner dans leur mouvement. Ce n'est pas ainsi que les choses se passent; le nimbus, pendant qu'il se forme, reste immobile ou il se meut très-lentement; les nuages, par contre, marchent vers lui avec plus ou moins de vitesse, parfois avec précipitation, et s'arrêtent sans passer outre. C'est donc un vent d'aspiration; la cause du rappel de l'air est là dans le nimbus.

Dans la même lettre (proposition 4), le P. Beccaria ajoute : « La succession des autres particularités qui se manifestent lorsque le nimbus approche nous révèle la cause qui met en mouvement les nuages, et fait naître le vent;... car lorsque le ciel est parsemé de nuages séparés, on les voit de tout côté se diriger vers le nimbus et vers ses branches les plus éloignés plus lentement, les plus rapprochés, plus rapidement. Il semble, en effet, que du nimbus et de ses branches, se répand une force *attractive* qui *attire* au nimbus et à ses branches tous les nuages, qui les étend et les rattache les uns aux autres par leurs extrémités plus rapprochées. »

A la proposition suivante, il s'exprime encore plus explicitement. Il explique quelle est la nature de cette force. Il l'attribue ouvertement à l'électricité. « Et finalement d'ordinaire, un tonnerre, qui vient à éclater, fait voir en quoi consiste cette force *attractive;* car, en même temps, l'union susdite s'accélère en proportion avec la force du tonnerre, comme je l'ai dit ailleurs, et tout le ciel finit par se couvrir d'un nuage uniforme, dense, orageux (1). »

(1) La successione poi degli altri accidenti che accadono nell' avvicinarsi il nembo ne manifesta la cagione che e muove i mentovati nuvoli ed eccita il vento... Imperciocché il cielo suol essere sparso di nuvoli disgiunti, e tutti questi si vedono a dirigersi da agni banda verso il nembo e verso i suoi rami, più lentamente i più

Le P. Beccaria voyait donc dans les vents qui attirent les nuages secondaires un vrai vent d'aspiration produit exclusivement par une action électrique, et il avait bien raison, puisque les phénomènes l'y autorisaient.

Dans l'après-midi d'un beau jour du mois de juin 1853, j'ai observé à Salerne deux grands cumulus, qui cependant ne présentaient pas les caractères des nuages orageux, se mouvoir l'un vers l'autre en direction du N. à la hauteur de 45° à peu près au-dessus de l'horizon. Leur mouvement pendant quelque temps fut si rapide qu'il étonna tous les spectateurs. Leur vitesse diminua peu à peu, et lorsqu'ils se trouvèrent à une courte distance l'un de l'autre, il y eut un moment d'arrêt bien prononcé. Tous les deux parurent ensuite osciller un instant. Le nuage de l'Ouest recula, tous les deux continuèrent à se mouvoir dans cette direction et finirent par ne plus former qu'un seul cumulus, mais marchant désormais avec une vitesse sans comparaison plus faible. Dans la supposition d'un vent extérieur aux nuages les poussant l'un contre l'autre, je conçois qu'après la rencontre leur vitesse devait être sensiblement diminuée, car le mouvement est produit par la différence des deux forces, mais je ne puis me rendre compte ni de la diminution sensible du mouvement avant la rencontre, ni du moment d'arrêt, ni de l'oscillation. L'électricité, au contraire, m'explique tout cela.

En effet, si nous admettons que les nuages marchent l'un et l'autre par l'action de l'électricité, à mesure qu'ils s'approchent, l'électricité de l'un réagissant sur l'électricité de l'autre, il doit nécessairement en résulter une diminution de mouvement; et enfin il arrivera aussi un moment où par cette réaction réciproque la tension électrique d'un côté et de l'autre sera égale; c'est le moment neutre

lontani, più velocemente i più vicini. E appunto sembra che dal nembo e dai suoi rami si spanda una forza unitiva che tutti i nuvoli tragga al nembo ed ai rami, ed i limiti di ciascuno estenda e congiunga coi limiti de vicini. (lett. 15-prop. 4.)

E finalmente d'ordinario alcun tuono che accade ne mostra in che consista tale unitiva forza perché corrispondentemente al tempo ed alla forza del tuono si accelera l'unione sopradetta come l'ho altrove esposto; e tutto il cielo resta ingombrato da un nuvolo uniforme, denso, nemboso. (*ibid* prop. 5.)

qui a lieu toujours lorsque deux corps électrisés de la même manière à une tension tant soit peu sensible sont arrivés à une certaine distance l'un de l'autre. A ce moment neutre, il doit en résulter nécessairement dans les nuages un instant d'arrêt.

Le célèbre savant que nous avons déjà plusieurs fois cité dans ce chapitre parle de faits semblables observés par lui, et ajoute d'autres particularités, qui ne pourraient non plus être expliquées par des vents extérieurs. Après avoir indiqué une loi qu'il a établie sur la direction constante des vents des nimbus, loi dont nous parlerons tout à l'heure, il ajoute : « Ce qui se passe dans les orages plus composés où deux ou plusieurs nimbus viennent à la rencontre les uns des autres de différentes parties du ciel, me paraît conforme à cette loi ; il en résulte ou un vent composé, qui serait la résultante des vents venant *de l'endroit occupé par chaque nimbus*, ou bien dans divers instants successifs les vents des nimbus contraires l'emportent l'un sur l'autre, ou même ils se contrebalancent (1). »

Ici ce ne sont pas seulement deux nimbus marchant à la rencontre l'un de l'autre, mais plusieurs, dirigés tous d'abord vers un même point, s'arrêtant parfois dans leur mouvement, et reprenant ensuite tantôt une, tantôt une autre direction. Serait-il possible d'expliquer d'une manière plausible ces bizarreries par de vents extérieurs au nimbus? Il faut nécessairement voir là bien autre chose que de simples courants d'air produits par des différences de température. Le P. Beccaria était donc autorisé par les faits à affirmer que la cause des mouvements dont nous parlons doit être exclusivement attribuée à l'électricité.

Nous avons de plus le témoignage de Saussure. Dans ses voyages, le célèbre naturaliste génevois a observé de près de quelle manière les vents des orages prennent naissance. « Quant aux orages, dit-il, je n'en ai vu naître dans ces montagnes que dans le moment

(1) Mi pare molto coerente a questa legge ciò che avviene nei temporali più composti nei quali due o più nembi procedono da parti contrarie, allora o ne risulta un vento composto dei venti che si dirigerebbero dal luogo di que' nembi, o in diversi successivi momenti prevagliono i venti de' nembi contrari, ed anche per alcuni momenti si bilicano gli uni cogli altri. (*Elettricità atmosferica*, lett. 10, resultato 11.)



de la rencontre ou du conflit de deux ou plusieurs nuages. Au col du Géant, tant qne nous ne voyons dans l'air ou sur la cime du Mont-Blanc qu'un seul nuage, quelque dense et quelque obscur qu'il parût, il n'en sortait point de tounerre ; mais s'il s'en formait deux couches, l'une au-dessus de l'autre, ou s'il en montait des plaines ou des vallées, qui vinssent atteindre ceux qui occupaient les cimes, leur rencontre était signalée par *des coups de vents, du tonnerre,* de la grêle et de la pluie. (SAUSSURE, *Voyages*, vol. 5, chap. 9, § 2,072.

Saussure, il est vrai, ne paraît pas s'être aperçu du rôle que jouait l'électricité dans ces divers courants ; pourtant, d'après son récit, ce rôle nous paraît manifeste. Comment expliquer autrement, en effet, les coups de vent et le tonuerre qui se déclare à l'approche des nuages entr'eux ? Pourquoi ce vent est-il plus violent que l'autre qui l'a précédé ? Il nous semble que si l'un et l'autre avaient été occasionnés par une cause étrangère à l'électricité, le second aurait dû être plus faible que le premier. Le tonnerre d'ailleurs qui accompagne ce coup de vent en révèle assez la nature.

L'autre vent, qui l'a précédé et qui entraînait vers la cime de la montagne les nuages de la plaine, était aussi un effet immédiat de l'électricité, comme cenx qni se manifestent dans tous les orages tant qu'ils sont en voie de formation, parce que, comme dans les autres orages, c'était un vent d'aspiration ; car les nuages dirigés vers la cime, une fois qu'ils y étaient arrivés, ne la dépassaient pas, mais ils s'y arrêtaient ponr faire corps avec le nuage qui y existait déjà.

On a crn pendant quelque temps que deux couches de nuages étaient nécessaires pour qu'un orage pût se former. Volta avait besoin de cette supposition pour expliquer le phénomène de la grêle. J'ai fait voir aillenrs *(Nouvelle théorie de la grêle)* que cette supposition n'a pas l'appui des faits ; nous reviendrons sur cette même question. Pour le moment, il suffira de faire attention aux paroles même de Saussure pour se convaincre que les deux couches de nuages, à deux hauteurs différentes, ne sont pas une condition indispensable, ni pour la formation d'un orage quelconque, ni même d'un orage à grêle. Saussure dit, en effet, que *le tonnerre*, la pluie et la grêle avaient lieu sans l'existence de ces deux conches.

Je disais tout à l'heure que le célèbre naturaliste de Genève ne

s'est pas aperçu du rôle de l'électricité dans le phénomène qui nous occupe. Il a cru que le mouvement des masses do vapeurs de la vallée vers le sommet de la montagne était l'effet d'un vent extérieur ; d'après lui, co vent aurait déterminé ou occasionné le tonnerre, la pluie et la grêle. Or, nous avons vu que le vent venait de la nue qui stationnait sur la montagne ; par conséquent Saussure a pris l'effet pour la cause. A la fin du paragraphe précédent, il a constaté la présence de l'électricité dans les nuages. « On les voyait, dit-il (il parle des nuages qui montaient de la plaine), se diviser en filaments qui, semblables à une huppe de cygne qu'on électrise, semblaient se repousser mutuellement en produisant des tournoiements et des mouvements si bizarres, si rapides et si variés, qu'il serait impossible de les décrire. Nous passions quelquefois des heures entières à contempler ces singuliers mouvements. L'électricité que ces nuages excitaient dans l'électromètre était constamment positive. »

Voilà donc l'électricité dans les nuages et les nuages eux-mêmes en mouvement par cette électricité, avant leur choc ou leur rencontre avec les autres de la montagne.

Si Saussnre n'a entendu le tonnerre que dans les conditions qu'il indique, ce n'est pas une preuve que le tonnerre no puisse éclater aussi en dehors de ces conditions. J'admets que *généralement*, lorsqu'un orage tant soit peu étendu et d'une certaine force se déclare, il y aura des nuages çà et là dans le ciel.

Il est hors de doute que tant que la tension électrique d'un nuage ne prédomine pas sur l'électricité du reste de l'atmosphère, l'air ne sera pas mis en mouvement ; il n'y aura donc pas appel de vapeurs, il ne se formera par conséquent pas de nuages secondaires. Voilà pourquoi il n'y a *généralement* point d'orage lorsqu'il no so forme pas de nuages secondaires. Mais la formation des nuages, répétons-le, est l'effet, non la canse. J'ai dit *généralement* et non pas *toujours ;* car si l'orage est limité, le tonnerre pourra éclater d'un nuage unique, même avec un ciel en apparenco assez pur partout ailleurs. Des faits de ce genre ne manquent pas ; nons les apporterons dans un autre chapitre.

C'est ici le lieu de parler d'un fait remarquable qui précède toujours le phénomène de l'orage et auquel l'orage est si intimement lié

qu'il n'a pas lieu si ce fait ne se réalise pas. Les météorologistes le connaissent. Ceux qui ont écrit sur cette matière en ont été vivement frappés, mais ils n'en ont tiré aucun parti pour l'explication du phénomène ; ils paraissent même ne pas y avoir attaché d'importance, puisqu'ils se sont uniquement bornés à le signaler. Ce *fait est le calme* des couches inférieures de l'atmosphère. L'orage se déclare avec d'autant plus de violence qu'il a été précédé par un calme plus long et plus absolu.

Le P. Beccaria est un des premiers qui en ait parlé. Voici ses paroles : « Afin qu'ils (les nimbus) puissent commencer à se former, augmenter et apporter l'orage, le calme est une condition nécessaire. Si le vent vient à se lever lorsqu'ils commencent à se former, ou même lorsqu'ils commencent à déployer leurs branches, ils se dissipent rapidement et (ce qui arrive souvent) toute trace d'orage disparaît (1). »

Saussure, dans son *Essai sur l'hygrométrie*, s'exprime en ces termes : « Nous le savons par expérience, les orages les plus terribles, les grêles, les trombes, les ouragans sont toujours précédés par de longs calmes. (SAUSSURE, *Essai*, vol. 4, chap. 2.) » Il est inutile d'ajouter à ceux-ci d'autres témoignages ; ce fait est si connu d'ailleurs, qu'il ne viendra à l'esprit de personne de le révoquer en doute.

Or, est-il possible d'en donner une explication plausible par les vieilles théories ? Si les orages ne connaissaient d'autre origine que les différences de température, l'air, sur la surface du pays où l'orage éclate, devrait : 1° commencer à être agité dès que l'orage commence à se former ; 2° le vent devrait commencer à souffler faiblement ; 3° il devrait être dirigé toujours dans le même sens ; 4° et ce sens devrait être celui que l'orage suivra plus tard dans sa marche.

1° L'air devrait commencer à être agité dès que l'orage commence à se former, car il faut nécessairement supposer une différence de

(1) Affinché essi (i nembi) insorgano e possano progredire ed arrecare il temporale, la calma é un requisito necessario ; e qualunque volta, o quando essi primamente insorgano, o quand'anche cominciano ad ispiegare i loro rami si eccita alcun forte vento, ne sono totalmente dissipati, e svanisce (ciòche spesso accade), ogni apparenza di temporale. (BECCARIA, *Lettrera 10 al Beccari*, prop. 6.)

température entre le lieu où l'orage se forme et le pays qu'il parcourra plus tard, autrement la marche de l'orage sur ce pays n'aurait pas d'explication.

2° Le vent devrait commencer à souffler faiblement, car si l'on met de côté l'action de l'électricité, quelles que soient les causes qu'on veuille faire intervenir, la différence de température ne s'établira que graduellement; elle sera d'abord légère et par conséquent le courant qui en résulte sera lui aussi léger.

3° Il devrait être dirigé toujours dans le même sens, car il faudrait autrement supposer que non seulement la température s'abaisse successivement en deux lieux plus ou moins opposés, mais que le second abaissement se fait précisément là où précédemment la température était plus élevée; ce qui ne serait pas facile à expliquer.

4° La direction du vent devrait être celle que suivra l'orage lorsqu'il se sera formé, car l'air du nuage orageux étant plus froid, c'est de l'endroit où l'orage se forme que le vent devrait constamment souffler.

Eh bien! rien de tout cela n'a lieu. 1° L'air sur le pays que l'orage parcourra, non seulement n'est pas agité pendant tout le temps que l'orage se prépare, mais, comme nous venons de le voir, le calme est une condition indispensable pour qu'il puisse se former. Si un vent de surface, d'une intensité quelconque, venait à se déclarer avant la formation complète du nimbus, l'orage n'aurait pas lieu.

2° Le vent d'orage, bien loin de commencer faible, se déclare soudainement avec plus ou moins de furie, et au lieu d'aller en augmentant, il ne suit aucune loi. Tantôt il paraît faiblir, tantôt se déchainer avec plus de violence, et faiblir de nouveau pour reprendre encore avec force, et ainsi de suite.

3° Le vent, pendant tout le temps que l'orage se forme, comme nous l'avons déjà vu, est constamment dirigé vers l'orage lui-même et ce vent reste confiné aux régions supérieures; tandis que lorsque l'orage se déclare, c'est-à-dire lorsque les éclairs, le tonnerre et la pluie commencent, le vent descend à la surface terrestre, et, comme nous le verrons tout à l'heure, il marche en direction plus ou moins contraire.

Tout cela prouve que les anciennes théories sont insuffisantes à

nous expliquer et le calme des régions inférieures de l'atmosphère et les phénomènes qui le précèdent et qui le suivent, à moins qu'on n'ait recours à des suppositions gratuites et plus ou moins absurdes.

Venons maintenant parler du vent qui se déclare au moment où l'orage éclate. Nous avons dit que généralement au moment où l'orage commence, il se manifeste à la surface terrestre un vent de *condensation ;* nous allons le voir par les faits. Commençons par les orages limités à une partie seulement du ciel.

Avant que l'orage se soit formé, les nuages secondaires vont vers un endroit déterminé où ils s'accumulent et forment le nimbus, lequel se tient immobile ou se meut très-lentement. Mais, à un moment donné, la scène change. Le nimbus : 1° ou il accélère subitement sa marche ; 2° ou il commence à se mouvoir en direction contraire à celle du vent supérieur ; 3° ou des lambeaux de nuages sont successivement chassés au loin du corps du nimbus. Ce dernier cas a plus particulièrement lieu avec la brise de terre des régions équatoriales ; nous nous réservons d'en parler plus loin dans un autre chapitre.

Quant au second cas, qui est analogue au premier, voici comment s'exprime le P. Beccaria : « Dans les orages, lorsque le nimbus marche avec beaucoup de vitesse et qu'il s'approche directement de mon observatoire ou qu'il le dépasse, surtout s'il grêle, il *surgit* un vent dont la direction est la même que celle du nimbus, et dont la force correspond à la vitesse du nimbus lui-même (1). » Voilà donc un vent qui se lève à l'approche du nimbus et qui vient du nimbus lui-même. Plus loin, l'auteur le dit d'une manière plus explicite et il indique des particularités remarquables.

« Toutes les fois qu'un nimbus s'est directement et très-rapidement approché de mon observatoire, il a été précédé par un vent correspondant impétueux, et d'après un grand nombre d'observations que j'ai faites sur les nimbus qui s'approchent de moi ou qui s'en éloignent, je crois pouvoir établir cette loi bien constante que ce vent orageux,

(1) Nei temporali nei quali il nembo discorre con molta velocità e si avvicina direttamente al mio osservatorio ed anche l'oltrepassa, allora, massime se il tempo è grandinoso, si eccita un vento, la di cui direzione è la stessa che quella del nembo, e la di cui forza corrisponde alla velocità di questo. (BECC., *Lett. 6 al Beccari*, prop. 6.)

*tant que le nimbus s'approche, vient du lieu où celui-ci se trouve, et lorsqu'il est passé, le vent souffle directement vers le lieu que le nimbus fuit* (1).

Il est, d'après cela, manifeste que le vent vient du nimbus et qu'il souffle de deux côtés opposés. Du nuage orageux sortent donc en même temps deux vents contraires, qui refoulent au loin l'air de la même manière qu'il est chassé du tuyau du soufflet. Ce sont donc deux vents de condensation, qui ne pourraient avoir aucune explication raisonnable par les anciennes théories.

En effet, premièrement ces vents sont frais, au cœur même de l'été ils se déclarent aux moments des plus fortes chaleurs. Or, les nuages orageux sont, sans exception, peu élevés; la différence de température entre la couche atmosphérique qu'ils occupent et la surface terrestre étant insignifiante (je l'ai démontré dans ma *Théorie sur la grêle*), le froid est naturellement inexplicable. En second lieu ces vents se déclarent soudainement, et succèdent à d'autres qui avaient soufflé jusque-là en courants supérieurs en direction contraire. Le nimbus s'était, par conséquent, comporté jusque-là comme se comporterait une masse d'air froid par rapport à l'air environnant plus chaud. Est-il possible de se rendre compte de ce renversement des rôles si instantané? Pourrait-on, sans le jeu de l'électricité, supposer que l'air du nimbus, plus chaud d'abord que l'air environnant, perd subitement telle quantité de chaleur à faire refluer avec force vers lui l'air qui l'entoure? Non ! il faut nécessairement avoir recours à l'électricité; elle seule peut nous rendre compte de ces courants nouveaux et subits, comme elle nous rend compte de ceux qui les ont précédés.

Les vents continuent à être des vents d'aspiration jusqu'au moment où le nimbus a atteint son maximum de tension : à cet instant

(1) Ogni qualvolta si è direttamente ed assai rapidamente avvicinato al mio osservatorio un nembo è stato sempre preceduto da un vento corrispondente impetuoso; e da molte osservazioni che ho fatte intorno ai nembi che direttamente si avvicinono a mio o direttamente se ne allontanano mi pare di poter stabilire questa legge assai costante, che tal vento temporalesco nell'avvicinarsi il nembo procede dal luogo da cui parte il nembo, e segue dopo passato il nembo a soffiare verso quel luogo il quale il nembo direttamente fugge. *Ibid*, resultato, 11.

l'électricité s'en échappe et met en mouvement plus ou moins brusquement l'air avec plus ou moins de violence. Les éclairs et le tonnerre sont là pour le prouver. Très-souvent le vent et le tonnerre se font sentir au même temps. A l'équateur ce fait est constant; le vent de terre, dans les lieux de montagnes où les brises sont régulières s'annonce toujours par l'éclair.

Si, tandis que le P. Beccaria faisait ses expériences à Turin au palais du Valentino, à Soperga, au Mont-Saint-Michel, à Albe, à Gargenza, etc., d'autres observateurs s'étaient trouvés dans d'autres directions en ces mêmes localités, ils auraient constaté que le vent ne souffle pas des nimbus en deux directions seulement, mais en tous sens. Ce fait, nous l'avons constaté nous-même plus d'une fois par le chemin que tenaient des lambeaux des nuages détachés du nimbus. C'est une preuve de plus en faveur de la thèse que nous défendons.

Le P. Beccaria a d'ailleurs lui-même constaté ce même fait. Non seulement il dit explicitement que le vent part de tout côté du nuage orageux, mais de plus il le reconnaît formellement comme un effet immédiat de l'électricité. Après avoir donné la description des différents phénomènes qu'il a observés dans les orages, à la suite des passages que nous avons cités, il ajoute, comme dernières conclusions pour les deux espèces de vents, les paroles suivantes fort remarquables :

« Ces choses font voir d'une manière évidente : 1° que c'est le *feu électrique* qui, tendant à se répandre entre le nuage orageux principal et les nuages secondaires séparés, *attire* ceux-ci vers les premiers et les y retient ; 2° et que c'est lui (le feu électrique), qui *pousse tout autour* l'air du lieu du nimbus vers lequel il attire les nuages, et il produit ainsi le vent orageux plus ou moins impétueux selon que l'attraction a été plus ou moins forte, c'est-à-dire selon le plus ou moins de force avec laquelle le fluide électrique se déploie et selon qu'il est plus ou moins abondant (1). »

(1) Le quali cose mostrano evidentemente 1° che il fuoco elettrico il quale mira a spandersi tra il nuvolo temporalesco primario ed i nuvoli disgiunti ; è desso che questi a quello *attrae* e *congiugne ;* 2° e che però è desso che *spinge in giro* l'aria dal luogo del nembo a cui tali nuvoli adduce, e così produce il vento temporalesco più o meno impetuoso giusta la più o meno impetuosa maniera di tale attraimento, vale à dire giusta la maggiore o minor forza con che il fuoco elettrico si spiega, e giusta a maggiore o minore sua copia (*Elettr. atmosf.*, lett. 13 a Beccari, n. 431).

Le savant auteur a constaté l'existence du double vent ou plutôt du vent multiple chassant l'air au loin du nuage oragenx, non nne fois seulement, mais un grand nombre de fois, à tel point qu'il se croit autorisé à élever ce fait en loi générale. Nous sommes du même avis : nous avons la conviction que généralement les choses se passent réellement ainsi dans l'atmosphère ; voilà pourquoi nous avons tant insisté et nous insistons encore sur ces phénomènes.

Mais cette conviction ne nous vient pas des observations faites par le P. Beccaria et par les nôtres seulement ; nous trouvons ces mêmes faits relatés par d'autres savants de mérite. M. Cadwalader Colden, de New-York, dans une lettre écrite à Franklin, en date du 2 avril 1754, et qui a été plus tard (16 décembre 1756) lue à la Société royale de Londres, apporte plusieurs cas de vents contraires et donne des détails fort intéressants ; nous n'en apporterons dans ce chapitre qu'un seul.

« Je ne doute pas que vous n'ayez souvent vu passer un nuage isolé d'où partait une violente bouffée de vent, mais de peu d'étendue. J'ai observé une bouffée de vent de cette espèce qui fit une large route de quelques milles de long au travers des bois en jonchant la terre d'arbres abattus, et cela dans la largeur de huit à dix chaines au plus. Quoique la violence du vent suive la direction du mouvement du nuage qui le précède, cependant *le vent en sort par tous les côtés*, de sorte qu'en supposant que le nuage marche au Sud-Est, les vents qui en partent du côté du Nord-Est sont des vents de S-O., et ceux qui en partent du côté du Sud-Ouest sont des vents de N-E. Et lorsque le nuage passe au-dessus de nous, il nous vient souvent de sa partie postérieure un vent de S-E.; mais il n'y a de violent que celui de tous ces vents qui suit la direction dans laquelle le nuage s'avance. Expliquer ce qui empêche le vent de sortir avec une force égale de tous les côtés, c'est un problème qui ne me paraît pas facile et que je n'entreprendrai pas de résoudre. (FRANKLIN, *Œuvres*, t. 2). »

M. Colden disait vrai ; ce problème, avec les idées qu'on a eues jusqu'ici sur la nature des vents, ne pourrait être résolu, tandis qu'il ne présente la moindre difficulté si l'on adopte les idées que nous développons dans cet ouvrage. On trouvera l'explication de ce

phénomène, ainsi que de tous les autres qui accompagnent les vents orageux, au chapitre sur la formation des orages.

Nous avions écrit tout ceci lorsque, pour la première fois, il nous tomba entre les mains le *Bullettino meteorologico* du P. Secchi ; ce fut en mai 1863. Nous y avons trouvé un certain nombre de faits qui prouvent la présence de l'électricité non seulement au moment de l'orage, mais plusieurs heures avant qu'il éclate.

Le P. Secchi, voyant les variations que subissent les appareils magnétiques aux moments et à l'approche des orages, eut l'idée de faire des expériences suivies sur des fils télégraphiques, pour s'assurer si les courants qui se manifestent sur les lignes télégraphiques sont ou ne sont pas instantanés. Le gouvernement du Souverain Pontife a mis à sa disposition la ligne entre Rome et Port d'Anzo, dont la direction est à peu près celle du méridien magnétique et dont la longueur est de 52 kilomètres environ. Ayant donc introduit dans cette ligne un galvanomètre, par des expériences exécutées jour et nuit, de demi-heure en demi-heure, il a pu « vérifier la permanence de courants constants, longtemps avant et après les orages. »

Le mois de juin de 1862, dit-il, a été tout à fait extraordinaire ; depuis plusieurs années on n'avait pas vu à Rome, à pareille époque, un aussi grand nombre d'orages. A compter du 1er jusqu'au 10, il y en a eu tous les jours, avec retard d'une à deux heures ; à cette occasion, dit le P. Secchi : « Les courants dans le galvanomètre introduit dans le fil électrique ont été presque continuels pendant l'époque des orages ; ils commençaient plusieurs heures avant l'apparition, et finissaient plusieurs heures après que le météore atmosphérique paraissait avoir cessé. Nous avons vérifié que, d'ordinaire, le courant est dirigé vers l'orage, ce qui est très-naturel et ce qui, d'après ce que nous avons dit sur les décharges d'électricité de la pluie, était à prévoir. Ce fait jette un grand jour sur la théorie de ces phénomènes ; les premiers savants qui se sont occupés d'électricité avaient déjà remarqué l'influence des saisons orageuses sur certains phénomènes curieux, et apparemment d'un autre ordre. On sait, par exemple, que le vin et le lait tournent vite, et que les hommes et les animaux éprouvent du malaise et de l'inquiétude...

» Il était difficile de rendre compte de ces phénomènes par de

simples tensions électrostatiques de l'atmosphère ; mais le fil télégraphique nous apprend que pendant plusieurs heures et pendant plusieurs jours, la terre est continuellement sillonnée par des décharges et des courants continuels, qui doivent influer sur l'organisme animal et sur la nature de diverses substances, comme le font les courants produits par les machines d'induction, etc. *(Bulletino meteorologico*, 1862, pages 81 et 82.) »

Nous verrons plus loin des phénomènes analogues à ceux dont parle le P. Secchi, et qui, sans doute, pourraient être produits aussi par des courants électriques ou même seulement par l'électricité de tension de l'atmosphère; mais, en laissant de côté cette question pour le moment, essayons de nous rendre compte de la cause ou de l'origine de ces courants. Existe-t-il un lien entre ces courants, ou du moins entre un certain nombre de ces courants et les vents?

Le P. Secchi, en rendant compte d'expériences qu'il a faites en 1861, par lesquelles il a constaté qu'un certain nombre de variations magnétiques accidentelles étaient intimement liées aux vicissitudes atmosphériques, dit que « la direction des vents était une des causes qui exerçaient plus d'influence sur le bifilaire. *(Ibid.*, page 25.) Il est bien vrai que, dans la pensée de l'auteur, le vent n'est que la cause médiate de ces variations. Nous reviendrons plus tard sur ce point; quoi qu'il en soit, il est certain, d'après ces expériences, que l'intensité magnétique horizontale varie avec la variation des vents. « Elle augmente avec les vents du N., et diminue avec les vents du S. ; en sorte qu'un fort abaissement du bifilaire prédit, d'une manière presque certaine, l'arrivée prochaine et définitive d'un vent du S., et réciproquement lorsque le bifilaire se relève après que ce vent a soufflé, on peut être à peu près sûr que le vent du N. reprendra, et que le beau temps se rétablira. *(Ibid.)* »

Nous trouvons aussi dans le *Bulletino* un autre phénomène qui paraît intimement lié aux agitations de l'air, observé plusieurs fois par nous-même, et dont nous avons parlé ailleurs ; c'est le mouvement de la feuille d'or de l'électromètre de Bonhemberger. Voici en quels termes s'exprime le savant auteur de cette publication : « Nous avons plusieurs fois observé, surtout le matin, une certaine agita-

tion dans la feuille d'or, que nous croyons d'abord produite par des courants d'air de l'intérieur du bocal, mais maintenant nous ne pouvons plus douter que ce ne soit pas un phénomène électrique d'induction à distance. Pendant ce même temps, le galvanomètre aussi est inquiet; dans les jours où le vent souffle fort, surtout si c'est un vent du N. *(tramontana)*, la feuille est agitée, et ses mouvements paraissent se *succéder avec les ondées ou bouffées du vent lui-même.* Le vent porte l'air en bas, et équivaut à l'effet qu'on obtient en élevant le conducteur. (*Ibid.*, page 35.)

Nous avons nous-même, outre l'agitation des feuilles d'or des électromètres, observé qu'une aiguille inerte, suspendue à un fil de soie, dans un récipient entièrement fermé et exposé aux rayons solaires, décrit des oscillations plus ou moins brusques, si l'air extérieur est tant soit peu agité par le vent; les plus amples sont immédiatement suivies d'une bouffée de vent plus ou moins forte; j'ai décrit ce phénomène au V[e] chapitre du livre II. Au même endroit, j'ai parlé de l'action des vents sur l'aiguille aimantée; j'ai dit qu'une aiguille légère suspendue de la même manière que l'autre aiguille inerte ne peut se tenir immobile tant que le vent dure. D'après tout cela, il est incontestable que les vents d'orage surtout sont accompagnés d'une action électrique; la nier, ce serait méconnaître les faits. Quant aux courants que le galvanomètre indique aux époques des orages, nous les étudierons ailleurs. En soumettant à un examen sérieux les causes auxquelles elles pourraient être attribuées, nous verrons quelle part peuvent y avoir les vents.

Il nous reste maintenant à parler d'autres phénomènes qui arrivent à la surface de la terre; parmi le nombre considérable que nous en possédons, nous choisirons ceux dont l'authenticité est incontestable. Un de ces faits est l'action particulière que l'atmosphère exerce sur les végétaux lorsqu'un orage s'est formé ou qu'il a commencé à se bien dessiner. Voici comment s'exprime un des rédacteurs de la *Bibliothèque Britannique* de Genève, qui a été témoin d'un fait de ce genre :

« On enlevait, au mois de mai de l'année dernière (1795), l'écorce d'un bois de chêne situé sur une éminence, à deux lieues de Genève. Cette opération n'est possible que dans la saison où la sève, en mou-

vement entre le bois et l'écorce, détruit suffisamment l'adhérence de celle-ci pour qu'elle se sépare avec facilité, et encore les ouvriers remarquent-ils que l'état de l'atmosphère influe d'une manière très-marquée sur cette opération. Un jour le vent était au N., le ciel serein, l'écorce ne s'enlevait qu'avec beaucoup de difficulté; après midi, le temps se couvre vers l'Ouest, le tonnerre gronde...., et au même instant, l'écorce des arbres s'enlève, pour ainsi dire, d'elle-même, à la grande surprise des ouvriers, qui se récrient tous sur ce phénomène, et qui hésitent d'autant moins à l'attribuer à l'état orageux de l'air, qu'il disparaît avec les symptômes de cette disposition de l'atmosphère. (*Biblioth. Britan.*, vol. 2, p. 221. — ARAGO, *Annuaire du bureau des longit.*, 1838, p. 364.) (1) »

Un autre phénomène se manifeste dans un certain nombre de fontaines, à l'occasion de la formation des orages et même lorsque l'atmosphère se couvre de nuages : l'eau tout à coup devient trouble. Davini l'affirme pour je ne sais plus quelle source, près de Modène; Vallisneri dit avoir été témoin oculaire d'un phénomène semblable aux salses de *Zibio*, de *Querzuola* et de *Sassuolo*, dans le même duché de Modène. Il ajoute que les solfatares annoncent un orage avant qu'il éclate, et cela par une espèce d'ébullition et par des bruits semblables à ceux du tonnerre.

Toaldo confirme ces faits par deux autres phénomènes semblables qu'il a lui-même observés dans le Vicentin. Le premier arrive à quel-

(1) Il arrive que les bois pourrissent très-vite. Dans l'opinion des gens de la campagne, et même d'un grand nombre de personnes instruites, ce fait est attribué à une action de la lune. On dit que les bois pourrissent en très-peu de temps lorsqu'on les coupe dans les néoménies, et surtout à l'instant précis de la nouvelle lune! Nous ne nions pas l'influence de la lune sur l'atmosphère, sur la mer, sur la surface de la terre elle-même, mais rien ne nous autorise à lui attribuer le phénomène en question, nous croyons qu'il doit être attribué plutôt à l'état du ciel. Si dans les temps orageux l'écorce des arbres ne présente presque pas d'adhérence, il est possible qu'il en soit proportionnellement de même de toutes les couches du tronc; il sera, par conséquent, moins solide qu'il ne l'est ordinairement. Mais en supposant que l'adhésion ait seulement diminué entre l'écorce et l'aubier; celui-ci étant mal défendu désormais par l'écorce, les insectes pourront facilement s'y loger. Quoi qu'il en soit, nous ne croyons pas cette observation hors de propos : nous engageons ceux qui sont partie intéressée en cette question, surtout les surintendants aux coupes des bois de construction, à entreprendre des expériences; ils arriveront peut-être à dévoiler le mystère.

que distance de l'église paroissiale de *Molvena*. Il y a là une source appelée la fontaine de Biffoccio qui, lorsqu'un orage se prépare, déborde subitement et remplit un large canal d'une eau très-trouble qui se répand dans les vallées voisines ; et cela même après une longue sécheresse et aux époques où elle est complétement à sec. Le second se passe à deux milles environ de ce lieu, non loin de l'église de *Villaraspa*. Dans une cour appartenant à une certaine famille *Pigati* se trouve un puits profond qui, aux approches de l'orage, bouillonne et produit un si grand bruit que les habitants des environs en sont effrayés.

Il existe au Mont Dore, en Auvergne, un bâtiment très-ancien, au milieu duquel est une cuve en pierre d'un seul bloc qu'on appelle la *cuve de César*. Elle a 1 mètre de large et 1 mètre 20 centimètres de profondeur. Le fond de cette cuve est percé de deux ouvertures d'où s'échappent deux colonnes d'eau en bouillonnant ; l'intensité du bouillonnement augmente considérablement en temps d'orage. Le docteur Bertrand a fait sur cette source des expériences qui ne laissent aucun doute sur la véracité du phénomène. Les habitants, dit-il, trouvent dans le bruit de la source de César un signe avant-coureur des orages : ce signe ne les trompe jamais.

Je laisse de côté tant d'autres faits analogues que je pourrais citer : il suffit de ceux que je viens de décrire et que je crois authentiques, non pas seulement sur la foi de ceux qui les ont premièrement racontés, mais sur l'autorité d'Arago, qui nous les a laissés décrits dans son célèbre travail sur le tonnerre.

Mais quels rapports ont ces phénomènes avec le sujet de ce chapitre ? Beaucoup, selon nous. En effet, si l'électricité atmosphérique exerce une action si prodigieuse sur la surface du sol, sera-t-il raisonnable de supposer que l'atmosphère reste calme ? Nous avons déjà démontré ailleurs que partout où l'électricité existe, elle doit nécessairement mettre en mouvement l'air environnant, proportionnellement à la tension que cette électricité possède. Si donc il existe dans les orages une quantité étonnante d'électricité capable de se révéler, non seulement par les signes ordinaires de l'éclair et du tonnerre, mais aussi par les phénomènes étranges dont nous venons de parler, quand même nous n'eussions pas d'autres preuves, ces

phénomènes nous donneraient le droit d'attribuer à l'électricité les agitations plus ou moins violentes de l'atmosphère pendant les orages.

---

## CHAPITRE IV.

### ÉLECTRICITÉ DANS LES TYPHONS.

Notre tâche ici sera moins difficile qu'elle ne l'a été pour les deux autres espèces de vents. Les typhons ou cyclones se présentent avec des caractères si extraordinaires qu'il serait puéril de vouloir les expliquer par de simples différences de température. Il ne s'agit pas d'agitations de l'atmosphère qui aient quelque ressemblance avec celles que nous sommes habitués à voir dans nos climats européens : les plus terribles ouragans de nos heureuses contrées ne pourraient leur être comparés ni par rapport à l'étendue ou à la durée, ni par rapport à la violence ou à la manière dont ils se propagent, ni par rapport à la nature ou à la terrible majesté des phénomènes qui les accompagnent. Par l'idée que je m'en suis faite en étudiant tout ce qui a été écrit sur ces sortes de vents, je crois pouvoir affirmer que ce sont peut-être les phénomènes les plus terrifiants de la nature. Je me suis trouvé en plusieurs endroits à l'époque de grands tremblements de terre : j'ai senti tout à la fois craquer sous mes pieds les voûtes d'un cinquième étage, et entendu le cri immense d'une multitude désespérée accompagné du tintement des cloches mises en branle par les convulsions du sol, et vu s'agiter les édifices que j'avais devant moi. Je n'avais eu jusque-là et je n'ai pas eu depuis une idée plus grande de la majesté et de la puissance de Dieu. La première secousse passée, je me suis comme malgré moi transporté à l'église, et je me suis presqu'instinctivement prosterné la face contre terre devant l'infinie majesté de Celui qui, d'un seul de ses regards, fait trembler la terre (1). Et bien, malgré cela, je suis con-

(1) Ceci arrivait à Naples, le 14 août 1851. Dans cette ville, à l'occasion de ce tremblement de terre, il n'y a eu qu'un certain nombre de maisons lézardées, et encore ces lézardes ne devinrent sensibles et dangereuses que quelque temps après; mais

vaincu que les émotions qu'éprouvent les marins surpris par les effroyables tempêtes des régions équatoriales doivent être bien autrement terribles. L'imagination s'effraie à la seule pensée d'un homme qui, pendant plusieurs jours, en proie à toute la fureur des éléments, au milieu des plus épaisses ténèbres déchirées seulement par la lueur sinistre des météores, sent sous ses pieds l'abîme prêt à l'engloutir.

Dans ces bouleversements de la nature, image de la future destruction des choses, lorsque déjà trop vieillie par le crime la terre aura comblé la mesure de la colère céleste, l'électricité se montre dans de telles proportions qu'il est impossible de trouver des expressions correspondantes.

Les typhons ne présentent pas tous, cependant, les mêmes caractères. Il y en a qui ne sont pas accompagnés d'éclairs; dans d'autres les éclairs sont continuels, dans d'autres ils sont rares, mais ils prennent un aspect particulier qui ne se trouve pas dans les éclairs ordinaires. Ici les manifestations ordinaires lumineuses se présentent sous forme d'étincelles semblables à celles qui jaillissent d'un fer chauffé au blanc qu'on frappe sur l'enclume; là, ce sont des bolides qui traversent plus ou moins rapidement l'atmosphère; ailleurs, les nuages et la mer sont en feu. Tantôt le tonnerre gronde d'une manière terrible, le plus souvent on ne l'entend pas, mais la fureur du vent et le bruit qu'il produit dépassent toute conception.

Il faut cependant avertir que, d'après MM. Maury et Piddington, les journaux de bord ne parlent pas ordinairement des éclairs, à moins qu'ils ne présentent des caractères extraordinaires; en sorte que le silence des journaux, sur ce point, ne peut être considéré comme un argument contraire. Et quant au tonnerre, nous verrons que le rugissement des vents et de la mer sont si terribles, la fureur des éléments si effrayante que, comme le fait remarquer le même Piddington, il faudrait que le bruit causé par le tonnerre fût fort outre mesure pour qu'il y eût probabilité d'être entendu. Et Bar-

plusieurs villes de la Basilicate, comme Melfi, Venosa, Rapolla, Rionero, Barile et d'autres, ont été en grande partie renversées, et plusieurs milliers de personnes y ont perdu la vie.

row, qui a pendant longtemps voyagé dans les mers de Chine, dit que l'éclat de dix mille trompettes et le roulement d'un égal nombre de tambours, produits à une extrémité du navire, ne pourraient être entendus à l'autre extrémité. Qu'on juge maintenant de quelle force devaient être les tonnerres dont les journaux de bord font mention! Le ciel, en outre, pendant tout le temps que dure le cyclone, est couvert de nuages si épais et si sombres qu'il est impossible, même au milieu du jour, de distinguer aucun objet sur le bateau. Quelle doit être la quantité et la tension de l'électricité sur ces immenses bancs de nuages qui ont parfois jusqu'à 1,000 milles de diamètre! mais venons aux faits.

Dans le typhon de la Barbade de 1831, « le développement de l'électricité fut terrible d'étendue et d'aspect..., toute l'atmosphère du lieu parut enveloppée d'un nuage électrique qui donnait des décharges constantes. (Reid, *Lawd of storms*, page 27.— Piddington, *Guide du marin sur les lois des tempêtes*, 4e partie.) »

Dans le typhon de l'île Maurice de 1786, décrit par Peron, « le tonnerre et les éclairs étaient presqu'incessants pendant la durée de ce terrible ouragan. On vit un météore, ressemblant à un globe de feu, suivre la direction du vent, alors du N-O., et disparaître derrière les montagnes de Moka. Il s'éleva considérablement dans l'atmosphère, et paraissait presqu'aussi grand que la moitié de la lune. (Piddington, *ibid.*)

Dans l'autre, décrit également par Peron, qui se déchaîna sur la même île trois ans plus tard, on ne parle ni du tonnerre, ni des éclairs, mais on dit que le vide barométrique était illuminé, ce qui montre l'existence abondante de l'électricité.

Dans l'épouvantable ouragan des Antilles de 1772, dont Santa-Cruz ressentit la plus grande intensité, on dit que la lame de tempête y fut d'une terrible hauteur, et « il y eut une obscurité décuple (1), *qui s'illuminait seulement par les météores qui effleuraient les collines comme des balles de feu. (Ibid.*, 4, 259.)

(1) Nous ignorons ce qu'on a voulu signifier par cette *obscurité décuple*, le passage que nous venons de rapporter n'offrant aucun terme de comparaison; l'auteur a voulu dire, peut-être, que l'obscurité était dix fois plus forte que la moyenne ordinaire pendant la nuit.

A Tobago, dans le typhon de 1847, « *les éclairs étaient extrêmement vifs et terribles dans leur éclat.* » Et dans celui d'Antigue de l'année suivante, on note que « à minuit le vent bouffait avec fureur, que *les éclairs et le tonnerre étaient incessants*, accompagnés de torrents de pluie. »

M. Al. Thom, dans ses *Recherches sur la nature et la cause des tempêtes,* donne l'extrait suivant du *Journal du Fairlie,* concernant le typhon rencontré par ce bâtiment, à 12° 2′, de latitude Sud, et à 101° 21′, de longitude orientale. (M. P.) « Le vent E. maintenant au S-S-O; *des éclairs terribles sillonnent toutes les directions. On voit de larges boules de feu ou des météores à chaque bout de vergue, tête de mât, extrémité du guy ; apparence des plus terribles....* (PIDDINGTON, *ibid.*, n. 262.)

M. le capitaine Rundle décrit certains éclairs, observés avant l'apparition d'un typhon, qui présentent beaucoup de ressemblance avec les éclairs des aurores polaires. « Pour moi, dit-il, cette modification des éclairs ressemble plutôt à l'aurore boréale que j'ai vue dans la mer du Nord, ou plutôt encore à l'aurore australe que j'ai vue au large de la terre de Van-Diemen et de la Nouvelle-Zélande. Je ne l'ai jamais observée dans les basses latitudes sans qu'elle fût le précurseur d'un gros temps ; elle éclaire graduellement l'horizon Ouest d'un éclat rouge sombre, et brille ainsi quelques secondes environ et disparaît graduellement. »

Et M. Piddington, qui a rapporté ce passage dans son 11e mémoire (voir n° 349), ajoute un autre fait observé par le capitaine Jenkins, de la Compagnie des Indes, commandant du *City-of-London* pendant l'ouragan du mois de mars 1816, entre le 12° et le 18° de latit. Sud, 75° 40' et 73° 40' de longit. orientale (P.) Il dit : « A 7 heures, l'aspect de l'atmosphère changea ; *de vifs éclairs constants ressemblant dans l'éloignement aux feux du nord* avec des rafales fraîches et fréquentes, etc. » Le même auteur ajoute : Nous ne devons pas supposer (en les voyant si rarement notés) que ce soit une circonstance ordinaire : les marins sont *si accoutumés aux éclairs* qu'ils prennent rarement la peine de les décrire (*Loi des temp.*, n° 349). »

Le capitaine du navire *Rajastan*, M. Stewart, dans une note sur

un petit, mais fort cyclone de la mer d'Arabie, qu'il éprouva le 5 décembre je ne sais de quelle année, dit : « Le soir du 4 décembre, *j'observai un genre d'éclairs remarquables dans le Nord-Ouest. Ils partaient perpendiculairement de l'horizon en tiges ou colonnes par groupes de 2 ou de 3 à de courts intervalles*; leur lueur nullement brillante était plutôt triste. (*Ibid*, *14e mémoire.*) »

M. Marcolms, chirurgien à la résidence d'Aden, dans une description qu'il a donnée du typhon de la mer d'Arabie qui démâta le navire *Seaton* de Bombay, dit : « Durant la violence do la tempête, la pluie tomba par torrents, *les éclairs sillonnaient avec une violence terrible* les masses noires et intenses des nuages, qui comprimaient pour ainsi dire la mer agitée. (Piddington, *8e mémoire*). »

L'électricité, comme nous l'avons dit au commencement de ce chapitre, ne se manifeste pas toujours avec du tonnerre ou des éclairs extraordinaires. Ces phénomènes se présentent souvent l'un ou l'autre au passage du centre, et ils sont généralement suivis d'une diminution ou cessation absolue de la tempête, qui cependant ne tarde pas à se déchaîner de nouveau.

Le capitaine Compton, en écrivant à ses agents de Calcutta, raconte qu'étant à bord du *Northumberland*, vers les trois ou quatre heures du matin, il vit deux immenses lueurs d'éclairs, et qu'une demiheure après le vent mollit, et ainsi se dissipa un phénomène d'une sombre et étrange apparence, qu'il ne décrit pas. Les journaux de Calcutta ont parlé d'un autre fait semblable. « A deux heures du matin, une lueur d'éclairs montra à l'équipage la perte du mât de misaine, dont on n'avait pas entendu la chute dans le désordre des éléments. A quatre heures, après une autre lueur d'éclairs, le vent cessa subitement. (*Loi des temp.*, nº 258.)

Dans le journal de l'*Eliza*, capitaine Mac-Carthy, dont le navire fut démâté et près de sombrer dans le typhon de Poourre et Cuttack d'octobre 1842, il n'est pas parlé d'éclairs, jusqu'à ce que le centre du calme ait atteint le navire. En ce moment il s'en manifesta un grand nombre, et on ajoute que « dans une lueur d'éclairs, le vent sauta soudain du N-N-E au S-S-E et souffla instamment presqu'aussi violemment qu'auparavant. (Piddington, *9e mémoire.*)

Ce fait, constaté souvent à bord, se trouve d'accord avec d'an-

ciennes observations faites par les Chinois et rapportées par le docteur Morison. *(Notice sur la Chine et le port de Canton.)* Il dit que ces observations ont fait naître le dicton : *S'il tonne, le typhon mollit.*

Jusqu'ici les faits que nous avons cités n'ont pas besoin d'être commentés, car il ne s'agit que d'éclairs et de tonnerre : la présence du fluide électrique est évidente. Il y a d'autres phénomènes qui, bien que produits par la même cause selon nous, pourraient ne pas le paraître aux yeux de nos lecteurs.

Un de ces phénomènes est la teinte d'un cramoisi vif ou rouge de feu, dont se couvre parfois le ciel et la mer avant l'apparition de la tempête. Une lettre du capitaine Norman Mac-Leod, qui a trait à un typhon du mois d'octobre 1832, après des détails sur le calme étouffant qui pendant 5 jours le précéda, ajoute les paroles suivantes: « Au coucher du soleil (5 octobre, latit. 15° 50′, longit. 87° 10′ (E. P.) la mer et le ciel devinrent subitement d'une couleur d'un vif écarlate; je ne me souviens pas de l'avoir précédemment jamais vue aussi rouge : le zénith même et tout le tour de l'horizon étaient de cette couleur. La mer semblait un océan de cochenille : le navire et tout à bord paraissait teint de cette couleur. Le ciel garda cet aspect jusqu'à près de minuit, et il ne diminua que lorsqu'il vint à pleuvoir. Ce phénomène n'eut pas plutôt disparu que la mer se couvrit pour ainsi dire d'une matière phosphorique en feu. La lumière rouge dura environ cinq heures. (PIDDINGTON, n° 346.) »

Le jour qui précéda le mémorable typhon de la Barbade, à 9 heures du soir le ciel était *étonnamment rouge et en feu. (Nautical Magazine*, septembre 1848.) Le même phénomène arriva dans le cyclone d'Antigue, du 21 août de la même année. Quatre ans auparavant le même fait avait eu lieu à Maurice. Le capitaine Hutchinson a observé la même chose vers le soir des trois jours qui précédèrent la tempête qu'il essuya le 18 octobre de je ne sais quelle année. (Latit. 32° Nord, longit. 81° 20′ (E.P.) Un phénomène semblable s'est manifesté dans le cyclone qui, en avril 1848, enveloppa le navire *Sulimang* à 10° de latit. Sud, 82° 40′ de longit. (E. P.) (PIDDINGTON, n° 343. 345.)

M. Barnett, passager sur le navire *Exmouth* lors du typhon de



mai 1840, dans une lettre publiée par un journal de Calcutta *(l'Englichman)*, dit : « Le 30 mars au matin, nous fûmes témoins d'un phénomène très-extraordinaire : le jour parut se faire complétement une heure avant le temps, quoiqu'il n'y eût pas de déchirure apparente qui permît de dire que la lumière jaillissait de cette éclaircie. On voyait tout à travers un voile de brillant cramoisi. Voiles, hommes, mer et même nuages gris, ressemblaient à un tableau de Claude Lorrain. Cette teinte décrut graduellement jusqu'au lever du soleil. (*Thom*, journal de Barnett, page 92. — PIDDINGTON n° 343.) » M. Piddington apporte un grand nombre d'autres faits semblables.

Nous en ajouterons un dernier qui a été publié par le *Nautical Magazine* sous le titre de *Eolian researches.* (Recherches éoliennes.) Voici ce qu'on lit dans ce journal : « Quelquefois du côté de l'horizon d'où arrive la forte tempête, on voit d'abord comme un nuage flamboyant de la façon la plus étonnante, et quelques uns de ces ouragans et tourbillons ont paru aussi terribles que s'il se passait une entière conflagration de l'air et des mers. Je fus informé par le capitaine Prowd de Stepney, homme rempli d'expérience et de véracité, que dans un de ses voyages aux Indes orientales, vers le 17° de latit. Sud. il rencontra une tempête de ce genre, non loin de la côte de l'Inde ; j'en ai quelques détails extraits de son journal. D'abord, contrairement à la course des vents qu'on attendait du S-E. ou entre le S. et l'E., on trouva entre l'E. et le N., la mer extrêmement agitée ; et, ce qui fut le plus remarquable et le plus terrible dans les parties Nord-Nord-Ouest, Nord et Nord-Nord-Est de l'horizon, le soleil devint étonnamment *rouge et enflammé ;* le soleil était alors au méridien. On y vit les signes d'une tempête qui arriva ensuite suivant les prévisions, et à mesure que croissait l'épaisseur de la nuit, la violence du vent grandissait aussi, jusqu'à ce qu'il finit par un ouragan terrible. A une heure après minuit, il arriva à une telle force qu'on ne put garder ni voiles ordinaires ni voile de cape; sept hommes pouvaient à peine gouverner; mais si je mentionne ce fait, si considérable à notre sens, c'est qu'à la fois toute *l'atmosphère, le ciel et la mer en furie ne semblaient qu'une seule masse de feu*, et que ceux qui connaissent la réputation de cette personne grave ne trouveront pas de motifs raisonnables pour se

défier de la vérité de cette relation. (*Nautical Magaz.*, 1841, page 666.)

Ces phénomènes, disons-nous, sont des phénomènes électriques ; mais que le lecteur ne soit pas tenté de croire que nous mettons toutes les vives couleurs des nuages sur le compte de l'électricité. Lorsque dans un autre travail nous aurons occasion de parler des différentes teintes des nuages et des différentes causes qui peuvent concourir à les produire, nous verrons alors qu'elles sont le plus souvent des effets de réfraction et souvent aussi des effets tout à la fois de réfraction et de réflexion. Mais les couleurs dont il est ici question ne peuvent nullement être regardées comme le résultat d'une réflexion ou d'une réfraction d'une lumière planétaire quelconque.

D'abord la lumière lunaire ne peut donner que des couleurs pâles, jamais la couleur rouge et encore moins la couleur vif-écarlate. On ne peut donc attribuer cette couleur, dans le fait rapporté par le capitaine Norman Mac-Léod, à un effet de réfraction de la lumière de la lune.

En second lieu, ce phénomène s'est montré à l'occasion du typhon décrit par Bernett lorsque la lune, bien que sur l'horizon, ne pouvait donner qu'une lumière excessivement faible, puisqu'elle était dans son 28e jour.

En troisième lieu, l'épaisseur des nuages empêche la lumière planétaire d'arriver jusqu'à la surface du globe. Ces phénomènes dont nous parlons ne peuvent donc être attribués à la réfraction d'une lumière planétaire quelconque. Et cela d'autant moins qu'ils se sont plusieurs fois manifestés pendant la nuit, lorsque la lune n'était pas sur l'horizon.

Quelle part pouvait y avoir la lumière solaire? Lorsque le soleil se trouve à 15 degrés au-dessous de l'horizon, c'est-à-dire une heure avant son lever ou une heure après son coucher, loin de colorer vivement le ciel, il ne lui donne aucune teinte bien définie. D'après les expériences de Bravais, le ciel, dans les jours les plus sereins, commence à se colorer d'une légère bande orange lorsque le soleil est à 12° seulement au-dessous de l'horizon : que sera-ce donc lorsque le ciel est couvert de nuages épais! Il est donc évident que la couleur rouge qui s'est manifestée à une heure quelconque de la nuit n'était

pas l'effet d'une réfraction de lumière solaire. Elle était par conséquent occasionnée par une lumière électrique.

Mais il ne s'agit pas seulement d'une couleur rouge plus ou moins foncée ; nous avons vu que cette couleur est souvent accompagnée de lumière vive. Cette espèce de conflagration des nuages du ciel et de la mer tout à la fois, qui donne à tous les éléments l'aspect d'une masse de feu ; ces nuages enflammés, et surtout le cyclone qui se déclare d'autant plus furieux que ces phénomènes se sont présentés plus imposants, prouvent qu'il y a là bien autre chose qu'un simple phénomène de réfraction de lumière ordinaire.

De plus, la lumière phosphorique, dont nous avons vu que la mer se couvrit presqu'aussitôt après la disparition de la couleur écarlate, vient confirmer notre opinion. On pourrait attribuer peut-être cette phosphorescence à la présence d'infusoires à la surface de l'eau ; mais le capitaine Norman Mac-Leod, qui raconte le fait, a soin d'ajouter que le microscope l'autorise à ne pas attribuer aux infusoires ce phénomène. « Nous prîmes, dit-il, quelques seilles d'eau, mais, même avec le microscope, nous n'y aperçûmes que peu ou point d'animalcules. » Et en supposant même que le phénomène fût produit par des infusoires, il faut bien admettre un état électrique extraordinaire dans l'atmosphère, car ces animalcules ne remontent pas à la surface des eaux dans les conditions ordinaires, autrement dans les mers équatoriales, où la phosphorescence de la mer est plus belle et plus étendue, ce phénomène se présenterait tous les jours.

Un autre indice manifeste de l'électricité, d'après nous, est l'élévation de l'eau en forme de pyramides. Je n'entends pas parler de ces soulèvements qui ont un mouvement progressif correspondant au centre du typhon, et qui transportent des masses immenses d'eau jusque dans l'intérieur des terres, mais j'entends seulement parler des soulèvements qui arrivent sans aucun mouvement de transport bien défini.

Voici comment M. Rundle, capitaine du navire *Futtle Rosack*, s'exprime dans son journal en parlant du cyclone de novembre 1843 (entre 5° et 12° latit. Sud, 79°40′ et 87°40′ (Est. P.) « Dans l'après-midi, vent de N-E., grains terribles soufflant avec une furie inconcevable, la mer s'élevant en forme de pyramides dépourvues encore

de rapidité, mais se soulevant et retombant comme un chaudron bouillant. (PIDDINGTON, 11e *mémoire*, vers la fin.) »

Dans le journal du navire *Robin-Gray*, qui donne les détails de l'ouragan de l'île Rodriguez, se trouve indiqué un autre fait semblable. M. Thom, qui le cite, dit : « C'est la mer cependant qui est le plus à craindre dans les coups de vent rotatoires. On la décrit terrible, se croisant confuse, furieuse, *soulevée en masses pyramidales* de tous les points du compas. (M. THOM, *Recherches sur la nature et la course des tempêtes*, p. 15.) »

Dans la relation publiée par le lieutenant Archet sur le naufrage de la frégate *Phénix*, nous trouvons un fait encore plus terrible. Voici ce qu'on y lit : « Qui peut essayer de décrire l'aspect du pont? Si je devais le faire, je ne pourrais jamais vous en donner une idée. Une obscurité totale tout autour de nous, la mer en feu s'élevant pour ainsi dire en Alpes, en pics de Ténériffe (les montagnes sont une idée trop commune); le vent grondait plus fort que le tonnerre (ce n'est nullement un écart d'imagination), le tout rendu encore plus terrible, s'il est possible, par une espèce de lumière vraiment extraordinaire. (REID, p. 303. — PIDD., no 237.) »

Hausbourg dit que « les cyclones des mers de Chine soufflent fréquemment avec une incroyable furie et que la mer s'élève en pyramides tumultueuses, *qui s'entrechoquent violemment l'une contre l'autre*. (PIDDINGTON, no 238.) »

Serait-il possible de donner de ce phénomène une explication tant soit peu raisonnable par les seules différences de température? Jusqu'ici du moins on n'a pas même essayé de le faire.

Il existe aussi un autre genre de faits qui met en évidence la présence de l'électricité mieux encore que les derniers dont nous venons de parler. Ce fait, c'est l'agitation de la boussole sous l'action du vent. Le capitaine du trois-mâts l'*Eausurain* donne une description fort intéressante d'un cyclone qui le surprit dans la mer de Chine. Nous y lisons les détails suivants : « Je mentionnerai une autre circonstance qui peut être intéressante, car elle fut certainement nouvelle et inquiétante pour moi. Nous ne pûmes parvenir à rendre régulier aucun de nos compas; *à chaque rafale successive, dans les forts grains, ils variaient de huit quarts à la fois*, et nous n'a-

vions pas d'autre moyen de gouverner que par la houle de la mer et l'action du vent sur l'arrière de notre avant. Ce phénomène continua quelque temps après que le coup de vent eut cessé. (PIDD., 17e *mémoire.*) »

Nous avons dit que rarement on entend le tonnerre, mais avec le vent on entend toujours des bruits terribles de différente nature. Parfois ce sont des bruits sourds qui se répercutent au loin à la façon du tonnerre (Journal de l'*Esmout.*) Parfois ils imitent le rugissement de bêtes féroces ou ressemblent à des décharges d'artillerie violentes et successives. (Journal de *Princesse-Charlotte.*) D'autres fois c'est un cri terrifiant. « Le vent, dit le colonel Reid en parlant d'un typhon rencontré par le navire *Rawlins*, le vent représentait des voix sans nombre élevées au plus haut ton de la terreur. (Col. REID, p. 20.) Or, si nous disions que ces voix, ces cris, ces rugissements terribles pourraient par hasard être aussi un effet médiat ou immédiat même de l'électricité, aurions-nous avancé une proposition hasardée ?

Qu'on veuille un instant réfléchir que la différence entre tous ces bruits et le tonnerre n'est qu'une différence accidentelle, qui peut probablement provenir de la différente manière de propagation de l'électricité, du différent degré de tension des nuages, de l'état électrique et de la diverse conductibilité de l'atmosphère. L'électricité qui s'échappe spontanément de l'extrémité d'un conducteur de nos machines produit un bruissement léger ; celle qui est reçue par un autre corps conducteur produit un bruit sec plus ou moins fort, selon la tension de la source, et celle qui jaillit entre un nuage et l'autre produit le tonnerre ; trois différentes espèces de bruits bien distincts les uns des autres.

Le tonnerre lui-même, non seulement quant à l'intensité, mais quant au genre de bruit, n'est pas le même partout. Celui de nos climats n'est nullement comparable à celui de la zone torride. Et à ne considérer que les tonnerres de nos régions tempérées, que de variétés dans leur éclat ! Maintenant c'est un bruit majestueux semblable à un coup d'une pièce d'artillerie de gros calibre qu'on tirerait à une certaine distance ; dans d'autres circonstances, c'est un bruit désagréable qui imite en proportions gigantesques celui qui se pro-

duit en brisant avec force un bois sec. Tantôt vous croyez entendre le roulement continu de mille tambours interrompus sans aucune loi à des intervalles plus ou moins longs. Tantôt vous diriez qu'on décharge tout près de vous sur un pavé rocailleux d'immenses quantités de cailloux. Ici c'est un seul coup de tonnerre qui meurt presqu'à l'instant même sans écho ou qui diminue très-rapidement. Là le fracas continue plus ou moins longtemps. Au premier éclat il en succède un second, et l'un et l'autre se répercutent, se multiplient, se prolongent en variant d'intensité et meurent presqu'insensiblement.

Bien que la science ne puisse pas se rendre parfaitement compte de toutes ces différences, nous savons cependant que les tonnerres n'ont lieu qu'à l'occasion d'un écoulement brusque de l'électricité vers un lieu et un objet déterminés. Si l'électricité jaillissait même brusquement, mais sans suivre une direction bien définie, si elle s'écoulait comme par ondes ou par cascades, envahissant toute une grande partie de l'atmosphère, il n'y aurait pas de tonnerre proprement dit, mais, dans tous les cas, la partie de l'atmosphère où se fait l'écoulement ne pourrait être calme ; car nous avons fait déjà remarquer au commencement du premier chapitre de ce livre, que partout où l'électricité se trouve, elle doit mettre l'air en mouvement, même si elle ne s'écoule pas. Par conséquent, là où elle se disperse par flots, inondant l'atmosphère à la façon dont l'électricité artificielle s'échappe spontanément de la machine électrique, il n'y aura pas, dis-je, de bruit semblable à celui du tonnerre, mais il se produira un sifflement plus ou moins terrible ou un roulement plus ou moins prolongé, plus ou moins interrompu, selon le plus ou moins de véhémence avec laquelle l'électricité met l'air en mouvement, et selon la différente rapidité avec laquelle les écoulements se répètent. Il est donc fort probable que les rugissements divers des typhons sont produits par ce mode d'écoulements de l'électricité, et cela d'autant plus qu'en mettant même de côté tout autre argument et en ne considérant que la seule furie du vent, il serait absurde de les mettre à la charge des différences de température, quelque grandes qu'on les suppose.

M. Piddington affirme qu'il n'est pas permis d'élever aucun doute

sur l'existence de l'électricité dans le terrible météore qui nous occupe, bien que, comme M. Thom, il regarde l'électricité comme un effet plutôt que comme une cause des cyclones eux-mêmes. « Il n'est pas douteux, dit-il, que, pendant les cyclones, n'ait lieu dans l'atmosphère une immense action électrique, » et il ajoute : « Les feux Saint-Elme, comme on les appelle, qui restent pendant des heures au bout des vergues et aux pommes des mâts par mauvais temps, sont des exemples de l'action électrique permanente existant entre la mer et l'atmosphère à travers le navire comme conducteur. (PIDDINGTON, n. 261.) »

Tout ce que nous avons dit dans ce chapitre est plus que suffisant, croyons-nous, pour prouver notre thèse. Nous aurions pu rapporter un plus grand nombre de faits : nous les avons jugés superflus ; car nous ne pouvons pas supposer qu'il y ait aucun savant qui se soit occupé de météorologie, ni aucun marin, nous ne disons pas seulement parmi les plus instruits et les plus expérimentés, mais même parmi ceux qui sont à peine initiés aux connaissances de leur art, qui ne soit convaincu de la constante présence de l'électricité dans cette espèce de bouleversement atmosphérique.

Nous n'avons rien dit des autres phénomènes caractéristiques des typhons, c'est-à-dire de leur mouvement de translation, de la courbe que ce mouvement décrit, de leur point de départ, de la limite de leur course et du mouvement inverse de rotation aux deux côtés de l'équateur. Ces phénomènes à eux seuls auraient suffi abondamment à démontrer, non la présence seulement de l'électricité, mais qu'elle en est la cause principale. Nous n'en avons pas parlé, car ce sujet sera traité au long dans le volume qui fera suite à celui-ci.

## CHAPITRE V.

---

### ÉLECTRICITÉ DANS LES DIVERSES ESPÈCES DE TOURBILLONS.

Outre les grands typhons ou cyclones de l'Océan Atlantique, du golfe de Bengale et de l'Océan Indien, il s'en forme d'autres d'une étendue beaucoup moindre et de moindre durée, mais qui n'en sont pas pour cela moins dangereux. Ce sont les *pomperos* de Buenos-Ayres et du Rio de la Plata, et surtout certains autres vents que les Espagnols ont appelé *tornados* et les Portugais *turbonados*, qui soufflent en différents endroits des basses latitudes, et particulièrement sur la côte occidentale d'Afrique.

Bien qu'il ne soit pas prouvé que les *pomperos* soient des vents tourbillonnants, nous avons cependant jugé d'en parler ici plutôt qu'au chapitre de l'électricité des orages, parce que, comme on le verra au chapitre 7ᵉ de ce même livre, il est plus probable qu'ils soient des vents tourbillonnants plutôt que des vents rectilignes.

Commençons par les tourbillons d'Afrique. Voici comment MM. Laid et Oldfield s'expriment dans l'ouvrage de M. Hopkins : « A l'approche d'un *tornado*, une masse épaisse de nuages se rassemble à l'Est à l'horizon, et est accompagnée de bruits fréquents, sourds, mais brefs, rappelant le murmure et le grognement de quelque animal sauvage comme la voix du tonnerre. Cette masse ou ce banc de nuages couvre graduellement une partie de l'horizon, et s'étend de là au zénith, mais généralement auparavant un petit arc rayonnant et bien tranché paraît au bord de l'horizon, et augmente graduellement. Bien avant qu'il atteigne le navire, on entend le sifflement rugissant du vent, qui produit presque autant de bruit que le grondement du tonnerre lorsqu'il semble séparer violemment les nuages les uns des autres. La course du grain est distinctement marquée par la ligne d'écume qu'il soulève ; je me tins sur le couronnement

du navire, et je sentis les premières risées du vent, tandis que les voilos hautes étaient dans le calme. La sensation de soulagement après la chaleur oppressive que produit toujours lo *tornado* est très-excitante et agréable. » Cette description n'est pas complète; l'auteur ne dit rien des autres phénomènes qui accompagnent le vent; il n'a fait que parler de son commencement. Nous l'avons citée, parce que les détails qu'il donne sur la forme des nuages et sur le bruit du vent serviront à corroborer les autres descriptions que nous allons rapporter, et feront voir au lecteur que les tourbillons des côtes d'Afrique se présentent constamment avec les mêmes caractères principaux.

M. Milnegraden a publié en 1827, dans un journal scientifique de Calcutta, une description bien plus détaillée de cette espèce de vents. Les faits qu'il raconte ont été observés par son père, dont il ne fait que copier le journal : « L'approche du grain (sur les côtes d'Afrique) est généralement présagée par l'apparence d'un jet de nuages noirs sur la côte, *se dirigeant vers la mer, en même temps qu'une brise fraîche souffle vers la terre...* Lorsque le *tornado* se rapproche, on remarque que la pluie bouillonne en torrents, et que les *éclairs partent des nuages avec une telle profusion, qu'ils ressemblent à de continuelles décharges de fluide électrique; quand cependant le grain arrive à la distance d'un demi-mille du navire, ces apparences électriques cessent tout à fait.* La pluie seulement continue de la même manière; lorsque le *tornado* passe vers le navire, on entend distinctement un sourd craquement dans le gréement, occasioné par la *descente du fluide le long des mâts*, dont les pointes servent à l'attirer; et l'on m'a dit, je crois, que l'on voit, quand ce phénomène a lieu la nuit, toutes les parties du gréement s'illuminer. Mais quand lo grain a dépassé le navire d'environ un demi-mille, les mêmes signes qui caractérisaient le grain dans sa venue de terre reparaissent exactement, et avant d'atteindre la même distance du navire. Les éclairs descendent de nouveau en nappes continues et en telle abondance, qu'ils ressemblent même aux torrents de pluie qui accompagnent le grain; ces grains ont lieu tous les jours, pendant une certaine saison de l'année appelée la saison de l'Harmattan. Le jet des nuages noirs venant des monta-

gnes commence à paraître vers neuf heures du matin, et atteint la mer vers deux heures de l'après-midi. Un autre fait très-singulier suit ces *tornados :* après avoir, sur huit à neuf lieues, agité la mer où ils se fondent probablement, on voit les éclairs s'élever de la mer. La violence du vent pendant la durée de la tempête est excessive. (PIDD., n. 274.) »

Toute réflexion touchant l'électricité est inutile, car elle se manifeste assez d'elle-même ; mais nous ne pouvons ne pas signaler au lecteur les deux vents contraires qui se déclarent au moment où le banc des nuages commence à s'élever. Cette grande masse, comme les nimbus de nos orages, ne commence à se mouvoir que lorsque l'orage s'est formé ; avant ce moment, comme on l'a vu dans la description de MM. Laid et Oldfield, l'air est calme et la chaleur étouffante, et lorsque l'arc des nuages commence à monter, il se manifeste deux vents, l'un vers la terre, l'autre qui pousse le nuage vers la mer ; ces deux vents sont frais l'un et l'autre. Ils partent tous les deux du banc des nuages ; ils sont, par conséquent, comme dans les orages ordinaires, des vents électriques.

Voici les détails que nous lisons dans une publication de M. Hopkins sur un pampero du Rio de la Plata :

« Le 30 janvier 1829, le *Beagle* arrivait au port de Maldonado ; avant midi, la brise était fraîche du N-N-O. ; mais, après midi, elle devint modérée ; puis l'obscurité et une chaleur presque étouffante semblèrent présager tonnerre et pluie. Pendant les trois nuits précédentes, on avait noté près de l'horizon, dans le Sud-Ouest, des bancs de nuages sur lesquels il y avait une réflexion fréquente d'éclairs très-éloignés ; le baromètre descendait depuis le 25 lentement mais régulièrement, et le 30, à midi, il était à 29p40 (746mm7), le thermomètre à 78° F. (25°56 C.). Vers trois heures, le vent était faible, et variait environ du N-O. au N-E. ; il y avait un fort banc de nuages dans le Sud-Ouest, et on voyait par instants des *éclairs*, même à la clarté du jour ; il y avait des bouffées de vent chaud. A quatre heures, la brise fraîchit du N-N-O. et nous obligea de serrer toutes nos voiles légères.

» Bientôt, après 5 heures, le temps devint si noir au Nord-Ouest, et *les éclairs augmentaient* tellement, que nous réduisîmes notre voi-

lure aux huniers avec des ris et à la misaine. Un peu avant 6 heures, les nuages supérieurs, dans la partie du Sud-Ouest, prirent une apparence singulièrement violente, et tournoyante et touffue comme de grandes balles de coton noir, et changèrent de forme si rapidement que j'ordonnai de diminuer de toile et de serrer les huniers, ne gardant établie qu'une petite misaine neuve. Des rafales de vent chaud venaient de la terre la plus voisine à des intervalles d'environ une minute. Le vent changea rapidement et souffla si fort du S-O. que la misaine fut emportée en rubans et le navire fut presque jeté sur le côté. Le grand hunier fut instantanément arraché des mains des hommes, et le navire allait apparemment chavirer quand les mâts de hune et le bâton de foc cassèrent près de leurs chuques et il se redressa beaucoup. Nous perdîmes deux hommes. L'embarcation de tribord fut enfoncée par la force du vent et l'autre fut emportée. Le bruit de la tempête était si fort que je n'entendis pas le mât se briser, quoique je me tinsse au gréement d'artimon. Je n'avais jamais été auparavant témoin d'une telle violence ou, je puis le dire, d'une telle lourdeur do vent : tonnerre, éclairs, grêle, pluie vinrent avec lui, mais on y faisait à peine attention en présence d'un si formidable accompagnement. Après 7 heures, les nuages avaient presque tous disparu, le vent s'établit en coup de vent de S-O. régulier avec un ciel clair. (Piddington, n. 269.) »

M. Webster décrit ainsi les tourbillons de Buenos-Ayres : « Mes observations, dit-il, m'ont donné souvent les indices suivants d'un pampero. Le vent reste étouffant pendant quelques jours avec une légère brise d'E. au N-E., finissant par un calme ; une légère brise froide s'établit au S. ou au S-E., mais elle est entièrement confinée aux couches les plus basses de l'atmosphère, tandis que les nuages supérieurs se meuvent dans la direction opposée du N-E au S-E. Lorsque la nuit avance, l'horizon au Nord s'assombrit d'épais et bas nuages *accompagnés d'éclairs* de l'Est ou du Nord-Est. Le vent de S. cesse alors et est suivi de vents variables du N. Les épais nuages sont amenés ainsi, et *les éclairs accompagnés de tonnerre suivent* de la manière la plus terrible, le vent varie graduellement à l'O. par rafales violentes, *les éclairs deviennent plus vifs et le tonnerre plus terrible*. Un coup de vent de S-O. éclate ensuite, mais

il est de courte durée, et le beau temps commence. » (PIDD., n. 271.)

Le 21 janvier 1793, jour néfaste pour la France, tandis qu'une tempête politique, arrivée au comble de sa fureur, répandait la terreur sur Paris, la foudre tombait 37 fois à Buenos-Ayres et y tuait 19 personnes. Le pampero venait des Cordillières, c'est-à-dire de l'O. comme d'ordinaire, et soufflait avec une incroyable violence. Au mois d'avril suivant, la foudre ne fit pas de ravages, mais la furie du vent dépassa toute mesure. Le pampero souleva les eaux du Rio de la Plata et les chassa jusqu'à dix milles au loin, en sorte que pendant trois jours le lit de la rivière fut mis à sec et on put y voir à découvert des navires qui avaient sombré depuis un quart de siècle. (FAMIN, *Hist. de Buenos-Ayres, Paraguay, etc.*, page 2.)

Dans ces espèces de tourbillons, l'électricité se manifeste avec lumière et avec le bruit du tonnerre. Il n'en est pas de même dans d'autres tourbillons ou ouragans de nos contrées. Souvent, très-souvent même, ils sont accompagnés de ces deux phénomènes; mais il n'est point rare d'en voir d'autres qui ne le sont pas, ou du moins les descriptions n'en parlent point. Mais nous avons vu au chapitre précédent comment il faut interpréter ce silence des journaux de bord. En outre, ne perdons pas de vue ce que M. Milnegraden disait tout à l'heure en parlant de l'électricité d'un tornado ou tourbillon des côtes d'Afrique, savoir que tous les signes électriques cessaient lorsque le grain était arrivé à la distance d'un demi-mille du navire, et reprenaient après s'être éloigné d'autant. Cette disparition arrive fort probablement parce que l'électricité s'écoule dans la mer par toutes les pointes des mâts et par toutes les parties du grément en contact avec le nuage orageux. Donc l'absence des signes électriques dans un coup de vent quelconque n'est pas un signe de l'absence de l'électricité elle-même.

Dans les tourbillons observés à terre, nous trouvons d'autres caractères qui nous permettent de les attribuer à la même cause. Un de ces tourbillons est ainsi décrit par Chabert, dans les *Mémoires de l'Académie de Paris*. Le 29 octobre 1757, vers trois heures du matin, un tourbillon furieux vint du Sud du port de Malte, avec un très-grand bruit; sa direction étant presque du Midi au Nord, il traversa le port, passa ensuite sur la Barraque de Castille, à l'extré-

mité de la Cité Valette, et sur le fort Saint-Elme, et emporta, pendant une minute et demie qu'il dura, presque tout ce qui se trouva sur son passage. Des vaisseaux furent démâtés, la barque du roi, l'*Hirondelle*, perdit son mât d'artimon, avec cette circonstance remarquable que ni son grand mât ni même son bâton d'enseigne ne furent endommagés... Des parapets de maçonnerie de plus de trois pieds d'épaisseur furent abattus, quoique à peine élevés de trois pieds. Enfin, il arracha les *pierres qui formaient le pavé* du fort Saint-Elme et laissa deux espaces découverts, qui avaient, l'un une toise carrée et l'autre trois toises de long sur deux de large; cependant les pierres avaient 8 à 9 pouces d'épaisseur, un pied et demi en carré, et étaient d'autant mieux cimentées qu'elles couvraient un magasin à blé situé dans l'intérieur de ce bastion. Mais un effet encore plus extraordinaire, c'est le déplacement de plusieurs pièces de canon et de mortiers situés sur une plate-forme du même fort. Deux canons entr'autres, de plus de 40 livres de balle, montés sur leurs affûts et placés à côté l'un de l'autre dans la même direction, furent retrouvés retournés dans deux sens opposés par le côté des culasses; l'*extrémité de l'affût d'un de ces canons se trouva à 13 pieds de distance de sa place ordinaire. Les mortiers furent emportés* au moins aussi loin et pareillement en sens opposés. (CHABERT, *M. de l'Académie de Paris, 1838*, p. 19. — PELTIER, *Les Trombes*, p. 128.) Brydone, dans la relation du même tourbillon, parle de flamme et de tonnerre.

Ce qui nous paraît plus merveilleux dans ce coup de vent, c'est qu'il ait enlevé des dalles bien cimentées entre elles. Nous ne sommes pas surpris que le vent renverse, broie et transporte des objets même très-lourds qui lui opposent quelque résistance, mais nous sommes étonné qu'il ait arraché du sol des objets très-lourds, solidement fixés et qui ne lui donnaient pas de prise. Ce fait n'est nullement explicable par une simple action mécanique d'un courant d'air.

Nous pourrions apporter un grand nombre d'autres faits analogues et curieux arrivés à l'occasion de tourbillons et d'ouragans semblables, mais nous nous en abstenons parce que dans un grand nombre de descriptions que nous avons sous les yeux, il est rarement

question du changement du vent. Ces ouragans, comme celui dont nous venons de parler, paraissent avoir été des vents rectilignes, ou, du moins, nous ne pouvons déduire des descriptions qu'ils fussent tournoyants. Nous nous en abstenons d'autant plus volontiers que les phénomènes curieux se réduisent en somme au transport d'objets plus ou moins lourds en direction contraire du vent et à d'autres phénomènes semblables dont nous trouverons les analogues au chapitre suivant.

Mais nous ne pouvons pas passer sous silence deux ouragans que nous croyons pouvoir classer parmi les vents qui se propagent en tourbillonnant ; l'un arrive dans l'Amérique du Nord, l'autre en Italie.

Nous trouvons décrit le premier dans un journal scientifique dans les termes suivants : « Le 29 juillet 1819 (1) le ciel était nuageux, l'air *épais*, comme l'on dit, et étouffant, les nuages étaient bas et pesants et le vent soufflait du S-O. Vers les trois heures et demie de l'après-midi, trois nuages bien distincts, noirs et denses, se levèrent du Sud-Ouest successivement. Il y eut alors une forte ondée. Un vent frais souffla pendant quelques instants, mais un peu après quatre heures il y eut un calme qui dura environ une heure. Vers cinq heures la pluie cessa de tomber pendant quelques instants. A cinq heures et demie, un autre nuage noir se leva du Sud-Ouest et fut accompagné d'un vent frais. Ce nuage eut bientôt atteint le zénith ; *trois rayons lumineux en sortirent et parurent être trois branches d'un même éclair ;* ils furent suivis *de trois coups de tonnerre fort aigus* qui furent presque instantanés.

» Pendant ce temps, un nouveau nuage noir et dense se leva rapidement du Nord-Est, et se répandit au-dessus de la ville. C'est à cet instant que commença une pluie des plus torrentielles. L'obscurité était telle qu'on ne distinguait pas les plus gros objets à quelques mètres. Cette obscurité ne paraissait pas provenir du brouillard, mais de la quantité d'eau qui tombait des nuages descendus jusque sur la

(1) Cet ouragan arrivait sur la petite rivière du Castkill, qui a donné son nom au pays qu'elle arrose et à une ville située à 120 milles au Nord de New-York, à l'Ouest de la rivière de Hudson, dans laquelle la rivière du Castkill se déverse.

terre. Aussitôt après la rencontre de toutes ces nues, *le vent devint très-variable, souffla en peu de temps de tous les points du compas,* et devint parfois si violent qu'il faisait pénétrer la pluie à travers toutes les fissures des portes. A cette violence succédait tout à coup un calme de quelques minutes. *Les éclairs et le tonnerre avaient une âpreté inusitée;* souvent le tonnerre n'était qu'une seule détonation, comme celle d'un canon ou l'éclat pénétrant d'un coup de fouet. L'eau tombait en larges gouttes, et quelquefois par filets et par lames. Il y eut quatre ou cinq intermittences de huit à dix minutes. Lors de l'éclair à trois branches, plusieurs personnes placées sur le vaisseau ressentirent des commotions; une d'entre elles vit une flamme s'élever de l'un de ses bras; d'autres coups de tonnerre occasionnèrent des commotions et des engourdissements. Une autre personne avait été renversée sur le pont; il s'élevait des flammes tout autour de son corps comme si elle était en feu; ces flammes étaient accompagnées de craquements et de soufflements. Une personne qui attendait avec anxiété l'arrivée d'un sloop, observa très attentivement tout ce qui se passa; elle a dit qu'elle ne vit aucun intervalle entre les nuages et l'eau près le quai de Livingston; le nuage qui était abaissé ainsi était très-noir dans la partie inférieure, tandis que l'extrémité supérieure ressemblait à un banc de neige très-blanche. Ce n'était pas de la pluie qui tombait, mais des filets d'eau. On ne voyait rien à 30 pieds de distance... Le pays sur lequel sévit cet orage peut être estimé à 80 milles carrés. (B.-W. DWIGT, *American Journal of sciences,* vol. 4 (1821). — PELTIER, 2e partie, chap. 3.)

L'autre ouragan est resté bien autrement célèbre et pour les dégâts qu'il a occasionnés et à cause de la description très-détaillée que le P. Boscovick nous en a laissé dans un long mémoire de 224 pages. C'est le tourbillon ou ouragan arrivé à Rome la nuit du 11 au 12 juin de 1749. Nous en citerons deux passages qui confirment la thèse que nous soutenons.

« Le vent du S-O. qui avait apporté quelques tempêtes sur la campagne romaine, régnait depuis quelque temps, lorsqu'un terrible ouragan vint de la mer *accompagné d'éclairs et de tonnerre,* qui, en passant par Ostie, entra dans Rome entre les portes de

Saint-Sébastien et de Saint-Paul, et en sortit entre les portes Pie et de Saint-Laurent. Le tourbillon était précédé d'un vent violent, accompagné d'un bruit rauque ; tout le long de son passage, même à quelque distance de lui, les maisons étaient secouées (*scosse*) ; une ondulation plus ou moins violente se faisait sentir aussi tout de suite après son passage, et l'air ensuite redevenait calme ; rien ne résiste à sa puissance : il transporte des tuyaux de cheminées en maçonnerie et des toits, renverse les portes et les fenêtres, déracine les arbres et perce de gros murs. Quelques objets sont transportés, d'autres sont soulevés ou arrachés avec violence du lieu où ils se trouvaient, et abandonnés au même endroit. Il y eut des murailles qui furent renversées en sens contraire les unes des autres ; un semblable phénomène a été aussi remarqué sur d'autres objets. »

Plus loin, nous lisons : « Les gros arbres, comme aussi les grands édifices, ont souffert plus que les petits ; tous les arbres qui se trouvaient latéralement au passage du tourbillon furent trouvés renversés vers le chemin qu'il avait suivi. Nous concluons de là que le tourbillon ne les a pas déracinés par sa violence, mais par sa force *d'attraction*, puisque ceux qui se trouvaient un peu éloignés sont tombés perpendiculairement. Au dernier étage du duc de Coserte une femme avait déposé sa lampe, et, au moment où le tourbillon sévissait, s'était mise en prière ; soudain la lampe est enlevée de l'endroit où elle avait été laissée, elle fait une fois tout le tour de la chambre sans qu'elle s'éteigne, bien que toute l'huile en soit renversée ; dans l'étage inférieur, il y eut d'autres phénomènes : *toutes les briques dont le pavé était carrelé furent enlevées*, et les clous qui soutenaient les tableaux arrachés ; on y vit aussi des flammes qui, d'après le témoignage de plusieurs personnes, furent aussi observées en d'autres endroits. Les traces du feu apparaissent manifestement en plusieurs endroits sur les feuilles des arbres et des vignes. (Boscovich, etc., n. 29.) »

Dans ce mémoire, l'auteur cite plusieurs autres tourbillons qui laissèrent les traces du feu tellement évidentes, qu'il n'est pas permis d'en douter. Mais en laissant de côté ce signe de la présence de l'électricité, arrêtons-nous aux autres phénomènes ; les trous faits dans les murs, les secousses éprouvées dans les maisons, avant et après le

passage du météore, les carreaux et d'autres objets fixés au sol encore plus solidement, comme les arbres et les murs, violemment arrachés, ne sont-ils pas tous des phénomènes électriques? Comment le vent pourrait-il, par une simple action mécanique, soulever toutes les briques d'une chambre qui n'offrent au vent la moindre résistance? Qui pourrait croire qu'un vent, par sa force d'impulsion, quelle que soit cette force, soit capable d'arracher des clous plantés sur les parois d'une chambre? Ces phénomènes sont évidemment des effets d'actions électriques; il serait moins raisonnable d'en douter que de douter de la présence de l'électricité, lorsqu'elle se manifeste par les phénomènes des éclairs et du tonnerre.

Peltier, dans son ouvrage, énumère ce tourbillon parmi les trombes, bien que dans la description originale à laquelle nous avons puisé, et où les moindres faits ont été recueillis avec soin, il ne soit pas question de *colonne* de nuages ou de vapeurs. Le P. Boscovich appelle ce météore un *tourbillon* et non une *trombe*, et nous croyons qu'il savait distinguer un phénomène de l'autre, bien qu'à dire vrai, la différence entre ces deux phénomènes ne consiste que dans la présence d'une colonne de nuages dans les trombes, et de son absence dans les tourbillons ou ouragans L'ouragan pourrait être accompagné d'un nuage plus ou moins sombre, mais il ne serait pas pour cela une trombe.

Le P. Boscovich, à son époque, n'était pas à même de donner une explication des phénomènes qu'il raconte, parce qu'on n'avait pas alors en main les faits très-nombreux recueillis depuis, qui ont permis aux physiciens de mieux apprécier les phénomènes eux-mêmes. Cependant, malgré tout le progrès, nous pourrions dire immense, que la science a fait depuis lors, elle n'est pas plus avancée aujourd'hui sur la connaissance des météores qui nous occupent qu'elle ne l'était il y a un siècle. La météorologie n'existait pas à cette époque; aujourd'hui, elle va sortir peut-être de l'enfance, mais elle n'en est pas encore sortie.

Peltier parait jeter le ridicule sur certaines observations du P. Boscovich; à propos du phénomène de la lampe, il dit: « Voilà, il faut l'avouer, un tourbillon de vent qui renverse les maisons et

arrache les arbres, bien courtois de promener ainsi la lampe de cette femme sans l'éteindre. (*Tr.*, page 311.)

Mais Peltior n'aurait pas dû s'étonner de ce que le P. Boscovich n'avait vu dans ce tourbillon que du vent, puisque, comme nous venons de le dire, aujourd'hui on n'y voit pas plus clair qu'alors ; mais nous avons droit d'être surpris que le météorologiste belge qui voit, comme nous, l'électricité dans ce tourbillon, ne l'ait pas vue dans le vent.

Dans les trombes, *l'attraction, le soulèvement, la répulsion et l'éloignement des eaux* et d'autres objets sont, d'après lui-même, des phénomènes électriques. Or, de quelle façon cette électricité produit-elle tous ces effets? Évidemment, de la même façon que sont produites les attractions et les répulsions des corps légers, et, par conséquent, par deux vents véritables, l'un d'aspiration, l'autre de condensation. Peltier n'a pas même soupçonné cela ; il n'a pas eu la pensée que les vents des trombes pouvaient être de même nature ; voilà pourquoi, malgré tant de recherches et tant de faits qu'il a analysés, il n'a pu formuler sur les trombes aucune théorie qui méritât ce nom. Tous ses efforts n'ont abouti qu'à prouver, d'une manière irréfragable il est vrai, ce que les savants connaissaient déjà, savoir : l'existence de l'électricité dans ces météores ; mais, quant à leur origine, il les a laissés comme il les avait trouvés, enveloppés de ténèbres.

Encore quelques mots sur le phénomène de la lampe. Nous dirons que, puisque Peltier, comme Boscovich, le donne pour certain, soit qu'on explique le transport par le vent ou d'une autre façon, comme il faut admettre que l'électricité a jeté la lampe avec une certaine violence, pourquoi ne s'est-elle pas éteinte? Peltier, n'attribuant pas au vent ce phénomène, n'élude donc pas la difficulté.

On ne peut pas nier, ce nous semble, que le transport de la lampe n'ait pas été effectué par le vent ; l'huile répandue et le mouvement autour de la chambre paraissait le prouver assez. Quant à la lumière, il est possible qu'éteinte d'abord, la lampe ait été rallumée par l'électricité à l'instant où, cessant d'agir sous forme de vent, elle l'a abandonnée sur le pavé. Ce ne serait pas la première fois que l'électricité aurait produit des phénomènes semblables ; on sait d'ailleurs qu'une

bougie récemment éteinte peut être rallumée aisément à l'aide d'une bouteille de Leyde. Si l'électricité excite souvent des incendies, est-il étonnant qu'elle ait pu rallumer une lampe qui fume encore ?

---

## CHAPITRE VI.

### ÉLECTRICITÉ DANS LES TROMBES.

Peltier a déjà traité très au long ce sujet : aujourd'hui les savants non seulement ne mettent plus en doute l'existence de l'électricité dans les trombes, mais ils sont généralement d'accord à les attribuer, au moins en grande partie, à l'électricité elle-même. Néanmoins nous ne nous écarterons pas de la route que nous avons suivie dans les cinq chapitres qui précèdent.

Nous avons promis de faire voir toutes les agitations de l'atmosphère accompagnées de manifestations électriques ; nous avons par conséquent le devoir de tenir notre parole. En outre, comme pour nous rendre compte de la nature des météores qui nous occupent, il faut discuter les faits qui les accompagnent, il est indispensable que nous mettions d'abord ces faits, ou au moins quelques-uns d'entre eux, sous les yeux du lecteur.

Les trombes sont des cônes ou des colonnes de vapeurs qui descendent des nuages ou qui s'élèvent de la mer ou des rivières, ou bien des colonnes de sable qui s'élèvent de la surface terrestre. Elles forment donc deux catégories bien distinctes, *trombes de vapeur, trombes de sable*. Nous parlerons des unes et des autres séparément.

**Trombes de vapeur.** — Nous commencerons par parler de la trombe qui arriva une lieue au-dessous de Trèves, à l'Est-Nord-Est de Ruwer et de Pfalzel, le 23 juin 1829.

« Le ciel, à la suite de la pluie qui venait d'avoir lieu, dit le narrateur, était encore couvert, lorsque tout à coup, du milieu d'un nuage noir qui s'élevait de l'Est-Nord-Est, une *masse lumineuse* commença à se mouvoir en sens inverse et à se déchirer violemment. Le nuage prit bientôt vers le haut la forme d'une cheminée de laquelle se serait échappée une fumée d'un gris blanchâtre, assez mélangée par

intervalles de *jets de flamme*, et s'élevant par plusieurs ouvertures avec autant de force (ainsi s'exprimèrent un certain nombre de témoins) que si elle avait été chassée avec la plus grande vivacité par plusieurs soufflets.

» Le météore était arrivé au-dessus des vignes de Disburg et vis-à-vis Ruwen, lorsqu'à quelque distance plus au Sud sur la rive droite de la Moselle, tout à fait en contact avec le sol, un nouveau météore, comme il sembla à plusieurs individus, apparut d'une manière effrayante ; il dispersa des masses de charbon de terre entassées autour d'un arbre, renversa un ouvrier d'un four à chaux qui se trouvait là, et se précipita à travers la Moselle avec un fracas épouvantable, comme si un grand nombre de pierres se heurtaient ensemble. L'eau s'élança en une haute colonne.

» Roulant avec ce même fraças, ce dernier météore, toujours à terre, se dirigea à travers les campagnes de Pflazel, laissant des traces évidentes de sa route en zigzag à travers les champs de blé et de légumes. Une partie des légumes fnt entièrement détruite, une autre partie couchée et hachée, le reste enlevé au loin dans les airs.

» Plusieurs femmes près desquelles passa le météore s'évanouirent, d'autres plus éloignées se cachèrent ou s'enfuirent en criant : *tous les champs sont en feu*. Deux ouvriers qui étaient montés sur un arbre observèrent le météore, un autre eut même la pensée courageuse de le suivre, et cela était facile en marchant d'un pas ordinaire; mais dans un des zigzags qu'il décrivit, le météore l'enveloppa tout à coup. Il se sentit tantôt tiré en avant, tantôt violemment soulevé ; il se pencha en s'appuyant fortement à terre avec ses outils, mais il n'en fut pas moins jeté à la renverse. Le tourbillon pourtant l'abandonna et continua sa route.

» La route que le météore s'était frayée à travers les champs avait, suivant différents rapports, de dix à dix-huit pas de largeur sur une longueur de mille cent pas. Sa forme était à peu près conique. Sa couleur tantôt gris blanc ou jaune, tantôt brun obscur, le plus souvent *celle du feu*. Le premier météore était en l'air au-dessus de celui-ci, à peu près parallèle en avant vers le Nord. Il présenta pendant environ dix-huit minutes une grande masse d'un gris blanchâtre qui semblait souvent vomir de la fumée rouge de flamme, et

qui, vue à la distance d'environ une demi-lieue, avait la forme d'un serpent de cent quarante pas de long dont la tête était vers le Nord-Nord-Est, la queue à l'opposite.... (JAHRUE, *der chemic und phisick*, SCHWEIGGER, 42, 420. — PELTIER. *Les Trombes*, chap. 6, n° 50.) »

Dans cette trombe, la *masse lumineuse* et les différents *jets de flamme* témoignent assez de la présenco do l'électricité. La lumière aurait été bien autrement sensible si le météore s'était présenté pendant la nuit. Cette lumière devait même avoir une grande intensité, car les éclairs les plus forts qui arrivent pendant le jour sont très-pâles. Quant aux autres phénomènes, nous ferons quelques observations plus loin.

Voici maintenant quelques détails sur plusieurs trombes qui se manifestèrent à l'occasion d'un orage dans lequel se trouva enveloppé, au 19 avril 1827, le paquebot *New-York* dans la traversée de New-York en Angleterre. On en trouve la relation au tome 4e des *Mémoires des savants étrangers de l'Académie des sciences de Paris*. Elle est du célèbre Scoresby. Nous y lisons les passages suivants :

« Le 19 avril 1827, à 5 heures et demie environ du matin, nous fûmes réveillés dans nos hamacs par un bruit semblable au retentissement d'un canon de gros calibre qui aurait été tiré à nos oreilles. Nous fûmes tous debout dans un instant. Notre cabine et toutes les parties du vaisseau étaient remplies d'une épaisse fumée qui avait une très-forte odeur de soufre. Le bruit se répandit bientôt que le navire avait été frappé par la foudre... Il était déjà grand jour, mais les nuages qui enveloppaient de toutes parts le navire étaient si noirs et si épais que l'obscurité régnait au milieu de nous. Il faisait cependant assez clair pour que nous pussions distinguer tous les détails de l'affreuse scène qui se passait sur le bâtiment. La pluie tombait par torrents, mêlée à des grêlons aussi gros que des noisettes... *Des éclairs brillaient de tous côtés, accompagnés presqu'au même instant de coups de tonnerre.*

» La mer était agitée d'une manière violente et irrégulière et présentait un aspect remarquable... D'immenses nuages de vapeur s'élevaient de la mer et formaient dans l'air une multitude de colon-

nes grisâtres : on eût dit d'innombrables piliers supportant la voûte massive des nuages qui couvraient le navire.........

» La mer était dans un bouillonnement continuel comme par l'action d'une quantité de petits volcans sous-marins; *ce devait être un phénomène électrique* du même genre que les trombes. On apercevait, en effet, trois colonnes d'eau qui s'élançaient dans les airs, et puis retombaient en écumant dans la mer qu'elles agitaient avec force. La scène qui se passait en ce moment était épouvantable : les éléments semblaient s'être combinés pour la destruction de tout ce qui se trouvait sur la surface de la mer....

» La tempête se calma dans la matinée ; mais vers une heure, des nuages s'amoncelèrent de nouveau. (Le bateau n'avait pas de paratonnerre.) Le capitaine Bennet fit attacher une tige en fer au grand mât, prolongée par une chaîne pour servir de conducteur jusqu'à la mer... A deux heures, des passagers et l'équipage furent glacés de terreur par un épouvantable coup de tonnerre semblable à celui du matin. L'éclair et le bruit de la foudre furent simultanés ; le bâtiment parut être un instant tout en feu ; un courant d'électricité descendit le long du conducteur, le fondit sur son passage et causa une forte dépression dans l'eau de la mer, substance moins conductrice, vers laquelle l'électricité était alors poussée. Le recul de la réaction qui s'opérait à la fois sur le vaisseau et dans l'atmosphère était très-remarquable ; concentré par le conducteur dans un seul courant, le feu électrique se dispersait aussitôt qu'il pénétrait dans la mer; mais *une vapeur lumineuse paraissait* remonter de la mer jusqu'aux nuages, pendant que la réaction qui avait lieu sur le bateau était si forte, que quelques individus tombèrent à la renverse sur le pont. Un matelot qui était occupé à percer une planche avec une tarière reçut un coup vigoureux à la main, et fut renversé avec force....

» Un passager vieux et infirme et qui était resté couché fut soulagé par ces deux fortes décharges, et il put ensuite se livrer à l'exercice de la promenade, dont il était privé depuis trois ans. Il eut pendant quelques instants un dérangement de ses facultés intellectuelles, mais elles se rétablirent en peu de temps. *(Mémoires des savants étrangers*, 1833, t. 4. — PELTIER, chap. 17.) »

M. Scoresby parle ensuite de la fusion de divers objets en métal, de l'aimantation des divers outils qui se trouvaient dans le bateau et de la désaimantation des boussoles. Il est inutile de nous arrêter à montrer la présence de l'électricité dans ces trombes : elle se révèle assez d'elle-même. Nous dirons seulement que le bouillonnement de la mer, dont parlent souvent les journaux de bord, à l'occasion de grands typhons, a la même origine que ceux dont nous venons de donner les détails. La dépression des eaux et le soulèvement rapide des vapeurs ont été fréquemment constatés dans les trombes ; l'un ou l'autre de ces phénomènes ont été constamment observés lorsque les météores se trouvaient à portée des observateurs. Si, dans un certain nombre de ces météores, les signes ordinaires de l'électricité ne sont pas aussi évidents que dans les trombes dont nous venons de parler, cela doit être attribué à des conditions particulières de l'atmosphère que nous essayerons d'expliquer ailleurs.

Nous verrons tout à l'heure que, même lorsque les manifestations lumineuses n'ont pas lieu, les trombes sont accompagnées d'autres signes de la présence de l'électricité non moins incontestables que l'éclair et le tonnerre.

Nous ne décrirons pas d'autres trombes qui aient été accompagnées de ces deux phénomènes ; nous ne le croyons pas nécessaire. Il suffira de dire seulement que Peltier a décrit plus ou moins au long quarante-six de ces météores bien caractérisés, accompagnés de lumière électrique présentant des aspects différents. Ici c'étaient des éclairs et du tonnerre comme dans les orages ordinaires ; là, c'était une lumière continue dans toute l'épaisseur du cône ; quelquefois les vapeurs s'élevaient de la mer, répandant dans toute la longueur de la colonne une lumière phosphorique. Parfois le bout inférieur seulement et l'eau étaient illuminés, ou la lumière apparaissait uniquement au bout supérieur, sous forme d'une calotte de feu. On en a vu plusieurs qui ont présenté le phénomène lumineux au moment de la rupture ou de la disparition ; et cette lumière a pris tantôt l'apparence de rayons s'évanouissant dans l'espace, tantôt celle de globes de feu se jetant dans la mer, tantôt on a simplement ressenti un coup de tonnerre. Peltier ajoute que les cent trente-sept trombes dont il fait mention dans son ouvrage *mani-*

*festent toutes la présence de l'électricité à une très-haute tension.* Ceci ne doit pas s'entendre des manifestations lumineuses, mais d'autres signes auxquels nous avons fait allusion et dont nous allons parler.

Le P. Pianciani, dans ses *Istituzioni fisicochimiche,* décrit diverses trombes arrivées le 29 octobre et le 1er novembre 1832 dans la mer Ionienne, vis-à-vis du golfe de Sydra. Il dit avoir eu cette relation d'un témoin oculaire; nous la trouvons rapportée aussi par Piddington et par Peltier : « Le vent, dit le P. Pianciani, était E-N-E., c'était pour nous un vent debout ; la mer était très-agitée, et le ciel couvert de nuages noirs, épais et très-bas, qui, le jour étant très-avancé, firent nuit noire complète avant le temps ordinaire. Le vent passa tout à coup au N-E., et nous fîmes route au Nord. A l'exception des quatre grandes voiles, toutes les autres furent ployées. Le vent changea encore, et le capitaine fit route vers l'Est; mais le vent changea de nouveau. Ces changements provenaient de notre approche du lieu où la trombe se formait. En un instant nous fûmes surpris par un épais nuage qui passait entre les voiles et les mâts ; ce fut le commencement et l'arrivée de la trombe. Toutes les voiles furent serrées aussi vite que possible ; mais déjà la trombe nous a atteints et fait tourner la pauvre polacre comme une toupie ; son avant parcourut en un moment les trente-deux quarts du compas. Nous sentîmes alors un tremblement ou une secousse de haut en bas; tantôt le vent serrait le navire contre la mer, tantôt il le soulevait, autant du moins que son poids le permettait. Le vent, après avoir fait faire au navire des tours continuels, se mit à le presser violemment sur le côté dans toute sa longueur ; nous sentîmes ensuite que le navire s'élevait à l'avant et était déprimé vers l'arrière. (Pianciani, *Istit. fisicochimiche,* v. 3, p. 544. — Peltier, p. 274. — Piddington, p. 241.) »

Or, bien qu'ici on n'ait pas entendu le tonnerre ni aperçu l'éclair, l'action de l'électricité ne laisse point de doute. Comment un simple mouvement de l'air aurait-il pu tantôt pousser, tantôt soulever, tantôt faire tournoyer plus ou moins rapidement le navire ou un autre corps quelconque? Ayez ici recours aux différences de température et rendez-vous compte, si vous le pouvez, de quelle façon

ces différences pourraient occasionner, en très-peu de temps, des effets si opposés. Supposez, au milieu de la colonne de la trombe, un courant d'air chaud, aussi chaud que vous le voudrez, expliquerez-vous avec cela le soulèvement de la polacre? Quand même il se fût établi un terrible courant ascendant, on ne voit pas comment il aurait pu soulever le navire. Si vous supposez, au contraire, un courant d'air froid descendant dans le cône de la trombe, vous pourrez sans doute expliquer la dépression du navire contre la mer, mais vous vous trouverez en contradiction avec toutes les observations faites à bord, à l'occasion des typhons, lesquelles, sans exception, nous apprennent que le minimum de pression indiquée par le baromètre est au centre du météore. Dans la description qu'on vient de lire, il n'est point question d'ailleurs de courant à l'intérieur de la colonne dans l'une ou dans l'autre de ces directions, il y est seulement dit que le vent a successivement soufflé de l'E-N-E. d'abord, ensuite du N-E., et qu'il a successivement santé à plusieurs autres rhumbs.

Nous allons voir d'autres trombes où le vent se manifeste en plusieurs directions à la fois, avec des intensités différentes et produisant des phénomènes plus ou moins remarquables.

Un gentilhomme de New-York écrivant à Frankliu lui raconte que dans un voyage aux Indes-Occidentales, pendant un calme parfait, au mois de juillet, une trombe passa à trente ou quarante mètres du vaisseau, ayant la forme d'un cône renversé vers la mer. La base plus étroite avait une éteudue de huit pieds environ de surface; l'autre base était immense et touchait les nuages. La trombe passa lentement près du vaisseau. « Je pus, dit-il, parfaitement observer *qu'un courant de vent violent* sortait *de la trombe*, il faisait un trou de six pieds de diamètre sur la mer; ce qui produisit un grand anneau circulaire et inégal par la projection de l'eau, comme le ferait le vent d'un fort soufflet tombant perpendiculairement sur la surface de l'eau, et j'en entendis parfaitement le sifflement. Je suis très-sûr qu'il n'y avait aucune attraction de l'eau qui la fît monter dans la colonne de la trombe, excepté les projections écumeuses dont je viens de parler. Je pus parfaitement distinguer un espace de huit pieds environ entre le bout du cône et la mer dans lequel rien n'in-

terrompit la vue; ce qui aurait eu lieu si l'eau de la mer était montée dans le cône. (FRANKLIN, *Œuvres*, tome 2.)

Nous avons ici un vent qui fait marcher la trombe et un autre qui sort du cône; le premier est faible, le second est très-fort, puisqu'il fait monter l'eau tout autour. Voilà donc une immense colonne de nuages d'où descend un violent vent vertical, et malgré cela cette colonne est mise en mouvement par un vent léger perpendiculaire au premier, sans que cependant cette colonne oppose une résistance quelconque. Outre la difficulté d'expliquer, par des différences de chaleur, l'existence de deux vents perpendiculaires l'un à l'autre, on ne comprend pas comment une immense colonne de vapeurs peut être mise en mouvement par un courant extérieur à elle-même sans qu'elle se déforme nullement.

En outre, si le vent descendant était dû à un courant d'air, il existerait réellement une forte pression au centre ou plutôt à l'axe du cône; on a constaté précisément tout le contraire. Dans tous les météores de cette nature où il a été possible d'observer la baromètre, comme nous l'avons déjà fait remarquer tout à l'heure, l'instrument a accusé une dépression plus grande que sur tout autre point. Il faut donc admettre que les deux vents sont deux effets identiques de l'électricité accumulée sur toute la longueur du cône.

On doit en dire de même de tous les autres phénomènes analogues qui accompagnent ces météores. Ainsi, par exemple, l'eau, ou plutôt les vapeurs qui montent dans l'intérieur du cône, les objets lancés en toutes directions ou transportés à de grandes distances, en direction contraire au vent et la marche contre le vent du météore lui-même, sont des effets électriques; nous ne croyons pas qu'il y ait aujourd'hui un seul météorologiste qui pense autrement.

Peltier, qui a admis cela et qui l'a assez prouvé dans son ouvrage, établit une différence entre la force qui occasionne ces phénomènes et l'autre qui fait naître le vent. Il ne s'est jamais douté que celle-ci pouvait être identique avec la première. Pour lui, tous les phénomènes qui accompagnent les trombes sont électriques, excepté le vent. Mais si l'électricité a assez de force pour élever l'eau au dehors ou dans l'intérieur du cône, pour déraciner des arbres, pour jeter au loin contre le vent des objets même très-

lourds, pourquoi n'aurait-elle pas la force d'agiter l'air? Comment l'air pourrait-il rester tranquille en présence d'une tension électrique aussi puissante que celle qui se manifeste dans ces phénomènes? Pour nous, le souffle du vent qui fait marcher le météore et celui qui agite l'eau, sont deux faits indentiques de même nature.

Nous n'entendons pas cependant affirmer que la trombe marche toujours par un effet de réaction de son électricité propre, car il pourrait aussi exister un vent extérieur; mais nous soutenons que souvent, le plus ordinairement même, la trombe marche par une force qui lui est inhérente; nous le démontrerons en son lieu. Nous devons nous borner uniquement dans ce chapitre à faire ressortir l'action de l'électricité. Nous insisterons surtout sur les mouvements communiqués par le météore soit à l'air, soit à l'eau ou à d'autres corps, parce que ces mouvements prouvent à la fois et la présence de l'électricité et son action sous forme de vent. Nous l'avons déjà fait; mais citons encore quelques autres exemples.

Michaud, dans la description des trombes qu'il a observées à Nice, parle d'un mouvement d'impulsion produit par une trombe qu'il vit s'élever sur la mer, le 6 janvier 1789 vers midi. Nous citerons seulement le passage qui a rapport à notre sujet. « Le pied de cette trombe, dit Michaud, était si ample, qu'un vaisseau de guerre de 100 pièces de canon, ayant toutes ses voiles au vent, en aurait été enveloppé et même dépassé en hauteur et en largeur. Au lieu d'être tranquille comme au commencement, ce pied paraissait un véritable cratère de volcan, hormis qu'il ne jetait que de grands *lambeaux de nuages et de jaillissements d'eau de mer;* mais il les poussait par des *jets paraboliques et du centre à la circonférence et tout à l'entour* avec tant d'impétuosité et de violence, que c'était très-évident pour nous qu'il devait régner intérieurement et dans le bassin borné par l'enveloppe une effervescence inexprimable. (Peltier, p. 247, n° 226. — *Mémoires de l'Académie de Turin*, 1788-89, t. 9). »

Vers la fin de juillet 1796, les vents avaient été très-inconstants sur la Baltique et s'étaient continués jusqu'au 5 août. Le vent était à cette époque N-O., lorsque vers midi il y eut un calme complet sur la mer de Finlande. Le professeur Wolke, qui s'y trou-

vait, décrit dans les *Annales de Gilbert*, d'une manière très-détaillée, une trombe qui se déclara à peu de distance de lui.

« Une masse de nuages, dit-il, parut dans l'après-midi vers le N-O., et s'avançait vers le bâtiment, lorsque tout-à-coup on vit deux cônes s'allonger et s'unir aux projections aqueuses et fuligineuses qui s'élevaient de la mer. Le pilote n'avait point encore vu ce météore sur la Baltique, où il est très-rare en effet. Une des deux trombes s'avança en ligne droite vers le navire, et ce ne fut que lorsqu'elle en fut à cent pieds environ, *qu'on sentit quelques bouffées de vent qui en provenaient*. Deux mouvements de progression se voyaient dans cette trombe, des gouttes d'eau paraissaient tomber dans l'intérieur en suivant une ligne en spirale, tandis que d'autres projections d'eau montaient à l'extérieur. Le buisson ou charmille inférieure était formé d'eau projetée à douze ou seize pieds de haut, au-dessus de laquelle on voyait *de petits nuages de vapeur danser allant de la colonne au buisson*. Cette trombe, qui faisait un grand bruit, toucha le bâtiment à l'arrière et le traversa de l'arrière en avant; elle ne laissa tomber que quelques gouttes d'eau, grosses comme des cerises, et fit sentir l'odeur de soufre et de nitre. »

Pour abréger, nous dirons en quelques mots les autres phénomènes qu'il nous importe le plus de faire connaître. L'auteur ajoute donc, qu'il vit au-dessous de la colonne une excavation, des bords de laquelle s'élevait le buisson ou charmille. Nous avons vu que la hauteur de ces gerbes d'eau était de quatre mètres environ; Wolke a évalué à 130 pieds le diamètre du cratère qu'elles formaient et à 25 le diamètre de la colonne. Il observa aussi qu'au moment où elle traversa le bâtiment, le buisson diminua de volume et les nuages parasites cessèrent leurs danses. (*Annales de Gilbert*, t. 10, p. 482. -- PELTIER, p. 257.)

Nous nous dispensons de tout commentaire, car les faits témoignent assez d'eux-mêmes la présence de l'électricité et son action sous forme de vent. Nous pourrions apporter un grand nombre de faits analogues; nous nous en abstenons ici pour ne pas, d'abord, fatiguer inutilement le lecteur, et parce que nous serons obligés d'y revenir ailleurs dans le développement de la théorie de ces météores.

**Trombes de sable.** — Les trombes de sable ont la même origine que les trombes de vapeur. Elles naissent partout où le sol est très-sec ; cependant elles apparaissent plus souvent dans les déserts du Pérou, sur les sables des bords du Gange, dans les landes sablonneuses du Kourdistan, dans les steppes des monts Himalaya, et surtout au Grand Désert africain.

Pendant les quatre années que Stefenson a habité la province de Behar, dans le voisinage du Gange, il a observé plusieurs de ces colonnes de sable. La première fois qu'il les vit, ce fut le 23 novembre 1830, près de Rajmahal. Elles étaient plusieurs à la fois, de 20 à 60 pieds de hauteur, et présentaient un mouvement giratoire comme les trombes de mer ; elles passèrent à un demi-mille de distance et restèrent visibles pendant cinq minutes.

Le 10 février 1833, il en vit encore plusieurs dans l'île de Bar. Cette fois leur hauteur était plus considérable, car elles s'élevaient à plus de cent pieds, et perpendiculairement avec un mouvement rotatoire très-visible. Au bout de quelques minutes, elles se brisèrent par la base et se dispersèrent en nuage de sable.

Enfin, le 25 février suivant, le même Stefenson en observa deux autres énormes au confluent du Gange et de la Soane. Ces colonnes de sable avaient plus de douze pieds de diamètre et leur sommet allait se perdre dans l'atmosphère. Pendant quelques minutes elles conservèrent parfaitement leur forme cylindrique et elles présentaient le même mouvement tournoyant que les autres. Elles se dissipèrent à l'instant que se déclara une légère brise d'O. L'atmosphère, tout le temps, se conserva sans nuages et transparente comme d'ordinaire. (*Biblioth. univ.*, an. 1836, t. 6, p. 155.)

Burnes, dans ses voyages, parle de tourbillons de sable qu'il dit être communs aux abords des rivières, dans les déserts du Kourdistan. Ces tourbillons élèvent le sable à une grande hauteur et traversent la plaine comme les trombes sur la mer. Les renseignements qu'il donne sont trop vagues pour que nous puissions y baser un raisonnement quelconque.

Bruce, dans son voyage aux sources du Nil, nous raconte ainsi qu'il suit les faits dont il a été témoin au désert qu'il fut obligé de traverser pour revenir en Europe : « Le 14 novembre 1772, à 7 heu-

res du matin, nous partîmes d'Assa-Nagga, et nous marchâmes droit au Nord. A une heure, nous fîmes halte à Vaadi-el-Halboub, où l'on trouve quelques acacias. Nous avions fait ce jour-là 21 milles. Nous fûmes tout à la fois surpris et épouvantés par un des spectacles les plus magnifiques qui pussent frapper nos yeux. Nous vîmes à l'Ouest et au Nord-Ouest de nous, à différentes distances, s'élever au sein de cet immense désert un grand nombre d'énormes colonnes de sable, qui tantôt couraient avec une prodigieuse rapidité, et tantôt s'avançaient avec une majestueuse lenteur. Quelquefois nous tremblions qu'elles ne vinssent tout à coup nous accabler : nous reçûmes en effet de temps en temps une certaine quantité de sable. Mais ensuite elles s'éloignèrent, en sorte que nous pouvions à peine les distinguer. Elles s'élevaient à une si grande hauteur, qu'elles se perdaient dans l'espace. Souvent elles se brisaient très-haut, et ce volume immense de sable se dispersait dans les airs. Quelquefois c'était dans le milieu qu'elles s'étaient rompues, et le bruit qu'elles faisaient alors ressemblait à l'explosion d'un canon. Vers midi, le vent était au N. et soufflait très fort ; les colonnes s'avancèrent rapidement vers nous, et nous en comptâmes onze, rangées à environ trois milles. Le diamètre de la plus grande me parut à cette distance d'environ dix pieds. Heureusement le vent poussa au S-E. et les colonnes s'éloignèrent ; mais elles me laissèrent une impression qu'il m'est impossible de définir ; c'était un mélange de terreur et d'admiration. C'eût été en vain que nous eussions voulu fuir ; le cheval le plus rapide, le vaisseau le plus léger n'égale point leur célérité. La persuasion où j'étais de ne point leur échapper me fit rester longtemps immobile à les contempler. (Bruce, *Voyage*, *etc.*, vol. 4, chap. 11. Paris 1791, page 635.) »

Le 17 du même mois, le même voyageur en observa d'autres : « Un peu avant onze heures, dit-il, nous fûmes épouvantés de nouveau par la vue des colonnes de sable, qui étaient en si grand nombre qu'elles avaient presque l'air d'une armée. Leur marche était constamment dirigée vers le Sud, et elles occupaient cet espace du désert vis-à-vis d'Assa-Nagga, où le Nil fait un grand circuit et tourne à l'Ouest vers Korti et Dongola. Une fois plusieurs de ces colonnes firent tout à coup face à l'Est et parurent venir droit à nous,

et quoiqu'elles s'arrêtassent à deux milles de distance de l'endroit où nous étions, elles nous envoyèrent une prodigieuse quantité de sable. (*Ibid*, chap. XII, p. 646.) »

Bien que dans aucune des trombes dont nous venons de parler l'électricité ne se soit pas présentée avec ses signes ordinaires d'éclairs et de tonnerre, elle s'est cependent révélée assez par d'autres signes non moins évidents. En effet, serait-il possible d'abord de concevoir le soulèvement vertical de masses énormes de sable sans le concours de l'électricité? Cette considération à elle seule suffit à dissiper tous les doutes. A vouloir même accorder que l'air chaud s'élève du désert sous forme de courant vertical, ce qui n'est pas vrai, on ne voit pas comment ce courant pourrait soulever le sable. Nous n'insistons pas là-dessus ; car le lecteur comprend sans peine qu'une pareille explication ne serait pas sérieuse.

Nous en avons d'autres preuves dans le genre de mouvement et dans les particularités qui l'accompagnent. Pourquoi leur mouvement est-il tantôt très-rapide, tantôt très-lent? Pourquoi n'est-il pas en ligne droite, mais en ligne brisée, comme celui des trombes de vapeur? Comment expliquer le changement brusque de direction dans un groupe de trombes, tantôt de toutes à la fois, tantôt de quelques-unes seulement, tandis que les autres continuent à suivre le même chemin? Recourez ici à l'idée d'un courant d'air; pourrez-vous vous rendre compte de toutes ces bizarreries? pourrez-vous en expliquer une seule que vous ne vous trouviez de suite dans l'impossibilité de passer outre à l'explication d'une seconde? Vous pourriez me dire que les colonnes marchent poussées par un vent extérieur; mais pourriez-vous m'expliquer pourquoi leur mouvement est tantôt rapide, tantôt grave? Comment ce vent extérieur pourrait-il faire marcher des colonnes de sable d'une hauteur prodigieuse, je ne dis pas avec rapidité, mais d'une manière quelconque; je ne dis pas non plus pendant longtemps, mais pendant quelques instants seulement, sans en déformer aucune et sans en faire sortir aucune de sa verticale? Si c'est un courant d'air extérieur qui les pousse, pourquoi changent-elles de directions plusieurs fois de suite? Direz-vous que le courant a changé de direction? mais alors pourquoi ce changement de direction ne se déclare-t-il pas dans toutes les trombes à la fois?

Supposerez-vous que le vent souffle maintenant de deux points de l'horizon en même temps ? mais cette supposition n'élude pas la difficulté ; car si le nouveau vent agit comme composante sur les unes, on ne voit pas pourquoi il n'agirait pas de même sur les autres.

Puisque, malgré toutes ces suppositions, on n'explique rien, il faut nécessairement admettre que ces météores se sont formés et marchent par une action électrique qui leur est propre. Le mouvement tourbillonnant qui les anime, les jets de sable qu'elles envoient par intervalles, le bruit qu'elles font en se brisant semblable à celui d'une décharge d'artillerie, témoignent assez de la nature de l'agent intérieur qui les anime.

Mais, outre les preuves que nous venons de donner, nous en possédons de plus directes. M. Baddeley a publié dans le *Philosophical magazine* des expériences faites par lui sur un grand nombre de trombes de sable qu'il a observées à Lahore, aux Indes. Il dit que la quantité d'électricité trouvée dans toutes était considérable ; et il affirme que les tempêtes de poussière, si fréquentes dans toutes les provinces Nord-Ouest de l'Inde durant les mois secs, sont purement électriques.

Voici comment M. Baddeley a pu constater l'électricité de ces météores ; nous rapporterons ses propres paroles : « En 1847, à Lahore, désireux de m'assurer de la nature des tempêtes de poussière, je plaçai en l'air un fil de cuivre isolé sur un bambou au sommet de la maison ; j'amenai une extrémité de ce fil dans ma chambre, et je le fis communiquer avec un électromètre à lame d'or et un fil détaché communiquant avec la terre. Un jour ou deux après, pendant le passage d'une petite tempête de poussière, j'eus le plaisir de voir le fluide électrique passant par vives étincelles d'un fil à l'autre et affectant fortement l'électromètre... Depuis lors j'ai observé par le même moyen au moins soixante tempêtes de poussière de diverses grandeurs : au fond elles présentaient toutes le même phénomène. »

Plus loin, en décrivant la manière dont ces tempêtes se forment, il ajoute : « Le ciel est clair, pas un souffle d'air en mouvement, vous voyez bientôt un banc de nuages très-bas à l'horizon que vous vous étonnez de n'avoir pas observé auparavant ; quelques secondes se sont passées, et le nuage a couvert un demi-hémisphère, il n'y a pas

de temps à perdre : c'est une tempête de poussière, et chacun à la hâte se précipite dans sa maison pour éviter d'y être enveloppé. Le fluide électrique continue à descendre sans cesse par le fil conducteur pendant la durée de la tempête; les étincelles ont souvent plus d'un pouce ($27^{mm}$) de longueur, et émettent un sourd craquement. Son intensité varie avec la force de la tempête. (*Philos. magaz.* Août 1850, nº 248. — PIDDINGTON, appendice nº 457.) »

Nous fatiguerions le lecteur si nous voulions, par d'autres faits, continuer à démontrer la présence et l'action de l'électricité dans les météores dont il est ici question. Nous croyons notre proposition abondamment démontrée. Cette proposition, d'ailleurs, n'est pas la nôtre seulement; il n'y a aujourd'hui aucun météorologiste qui pense autrement.

Il se présente ici tout naturellement à notre esprit une question sur l'origine de cette électricité. D'où vient-elle ? On ne peut invoquer l'évaporation ou la condensation des vapeurs ; car les trombes se forment aux saisons sèches et sur les lieux arides par nature, où l'air ne contient presque pas de vapeur. Il ne peut se former de vapeurs sur un sol dénué de toute végétation et où, du moins à cette saison-là, il ne tombe pas une seule goutte de pluie. Au Grand-Désert, où les trombes prennent des proportions colossales, il n'en tombe point d'un bout à l'autre de l'année. On ne peut donc mettre l'électricité des trombes de sable sur le compte de l'évaporation. Par conséquent, on ne peut l'attribuer non plus à la condensation des vapeurs ; d'autant moins que les trombes se déclarent d'ordinaire aux heures les plus chaudes du jour, c'est-à-dire aux moments où la vapeur, au lieu de se condenser si elle existait dans l'air, devrait augmenter de tension.

Il n'est pas permis non plus de faire intervenir l'action chimique, car on ne voit pas comment pourrait se développer une action chimique quelconque, même très-faible, sur un sol desséché et quartzeux comme celui, par exemple, du Grand-Désert africain. On voit par là combien est peu fondée l'opinion de ces physiciens qui attribuent l'électricité terrestre et atmosphérique à l'évaporation ou à l'action chimique qui pourrait naître dans l'évaporation. Ici ni l'une ni l'autre de ces actions n'a lieu, et pourtant l'électricité s'y trouve à une grande tension.

D'un autre côté, comme l'air du désert est généralement tranquille, même aux plus fortes chaleurs, et particulièrement avant l'apparition des trombes, on ne peut supposer que l'électricité soit apportée de loin ou engendrée par l'agitation de l'air. Elle a dû donc être développée sur place et par une cause très-énergique. Or, si l'on exclut l'irradiation solaire, l'imagination la plus féconde ne saurait en assigner une autre, ni énergique ni faible, à laquelle on puisse l'attribuer avec quelque apparence de vérité. Nous croyons cet argument assez concluant en faveur de l'électricité des rayons solaires.

---

## CHAPITRE VII.

### IDENTITÉ DES AGITATIONS ATMOSPHÉRIQUES DES TROIS CHAPITRES PRÉCÉDENTS.

Les agitations atmosphériques dont nous avons parlé aux trois chapitres qui précèdent ne diffèrent pas essentiellement les unes des autres ; leur différence n'est qu'accidentelle, et provient, selon nous, des conditions particulières des lieux où ces agitations se passent. Ces vents n'ont pas, il est vrai, la même intensité, mais la différence d'intensité ne peut être considérée comme essentielle, une même cause pouvant donner lieu à des effets d'intensité différente, selon le plus ou moins d'énergie avec laquelle elle est entrée en action. Nous verrons dans ce chapitre que tous ces vents ont un double mouvement, l'un de rotation, l'autre de transport.

Hâtons-nous de dire cependant qu'il n'est pas toujours possible de se prononcer nettement sur la nature d'un coup de vent ; le marin lui-même, à moins qu'il ne voie le vent sauter successivement par divers points du compas, sera souvent dans l'embarras de juger, car, outre les grains passagers qui se dissipent en fort peu de temps, et qui, par les phénomènes dont ils sont accompagnés, ne peuvent être confondus avec les vents tourbillonnants, il en existe d'autres, lesquels, bien qu'ils soient des orages ordinaires, prennent dans les basses latitudes les apparences des grandes tempêtes.

Tels sont, par exemple, les vents des détroits de Malacca et de Syngapoure, qu'on appelle grains arqués, parce qu'ils s'élèvent avec un arc de nuages noirs montant si rapidement de l'horizon au zénith qu'ils donnent à peine au marin le temps de réduire sa voilure. Voici comment M. Piddington les décrit dans son excellent ouvrage que nous avons tant de fois cité :

« Ces vents du détroit de Malacca arrivent, dit-il, le plus ordinai-

rement la nuit ou tard dans l'après-midi, et très-rarement sinon jamais, le matin ou avant quatre heures du soir. Ils sont très-communs quand on est complétement dans le détroit entro la lat. de 5° Nord et le détroit de Syngapoure, et sont très-fréquents vers le milieu ou vis-à-vis de Malacca, où le détroit est complétement fermé par l'île de Sumatra. On pense qu'ils viennent (on parlo invariablement du vont lo plus fort) de quelques rhumbs entre le N-N-O. et l'O-N-O.; le N-O. est le plus ordinaire. »

Après avoir apporté les paroles d'un autre auteur, il ajoute : « Peut-être seront-ils mieux décrits (et j'en ai vu beaucoup) en disant qu'uno masse de nuages noirs se rassemble et monte rapidement en formant un arc immense et magnifique, au-dessous duquel on observe, même dans la nuit la plus sombre, une *lumière terne, triste et phosphorique*, comme celle qui est transmise par une chandelle à travers un papier huilé. Par moments elle devient plus vive, particulièrement lorsque l'arc approche du zénith. On observe des *lueurs de nappes d'éclairs très-pâles qui traversent cet espace et s'étendent quelquefois sur 10 ou 12 quarts de l'horizon.* A mesure que l'arc s'élève, on peut entendre distinctement le *sourd grondement du tonnerre*, la chute de la pluie et même le mugissement éloigné du vent. Ils sont *accompagnés vivement quelquefois*, mais pas toujours, de *tonnerre et d'éclairs.* Beaucoup de navires ont été atteints ; mais lo danger vient du vent, dont la première bouffée est toujours terrible et suffisante pour démater et désemparer la plus fine frégate si elle s'aventurait à la recevoir sous d'autres voiles que la voile de cape. Bien des navires ont été perdus par des officiers endormis ou téméraires qui se laissaient surprendre. Vers la fin du grain le vent varie un peu ; mais, d'après toutes les relations, rien ne peut faire supposer que cette bouffée de vent souffle autrement qu'en ligne droite. (PIDDINGTON, n° 267. »

Nous n'insisterons pas sur ces espèces de vents, parce que d'abord les faits que la scienco possède ne sont pas encore suffisants et de nature à nous permettre d'établir solidement une opinion quelconque sur la forme de leur mouvement, et ensuite parce que nous pensons nous-même que les nuages dont nous parlons ne constituent pas un météore particulier, mais qu'ils sont fort probablemont un commence-

ment ou les suites et comme la fin d'un typhon ou d'un tourbillon. Leur apparition a rarement lieu en effet sans qu'elle ait été précédée ou suivie d'un typhon ou d'un tourbillon.

L'arc de nuages ne nous paraît pas un caractère suffisant pour pouvoir affirmer si le vent qui soufflera aura ou non un mouvement de rotation. Ce nuage se présente dans les pamperos et dans des tornados soufflant de plusieurs rhumbs. On l'a observé aussi dans toute l'amplitude de la zone équatoriale avant l'arrivée de coups de vents rectilignes. Ce caractère ne dit donc rien sur la nature du vent.

Le colonel Reid prétend que les pamperos et les tornados eux-mêmes ne sont pas non plus des vents rotatoires, mais les arguments dont il étaye son opinion ne nous paraissent pas assez graves. Ces arguments se réduisent à certains faits qu'il a trouvés dans le journal du navire *Tartar*, où il est dit de divers tornados qu'ils ont soufflé en direction, l'un du N-E., un autre du S-E. et un autre enfin d'E.; il déduit de là que le vent a conservé la même direction. Or, cette déduction est loin d'être rigoureuse. M. Piddington fait remarquer que le journal du *Tartar* ne paraît pas avoir été rédigé avec soin, comme le prouve l'exposé laconique des détails. En parlant du vent, ce journal se contente de dire seulement « *un fort tourbillon (tornado) est venu de S-E. ou d'E.;* ce qui paraît vouloir signifier qu'il a continué et fini dans la même direction. Il est incontestable que si ces tourbillons étaient de quelque violence, comme le sont ordinairement ceux des côtes d'Afrique, ils auraient dû être accompagnés de quelques-uns des phénomènes dont nous avons parlé aux chapitres précédents. Le journal néglige d'en parler ; s'il ne fait donc pas mention du changement du vent, nous pouvons présumer que c'est par une regrettable négligence.»

En supposant même que les vents essuyés par le *Tartar* ne fussent pas tourbillonnants, il ne s'ensuit pas que les tornados et les pamperos ne le soient jamais. Il ne suffit pas qu'un vent souffle sur les côtes d'Afrique ou sur le Rio-de-la-Plata pour qu'on ait le droit de le considérer comme un tornado ou un pampero; mais, pour qu'il mérite l'un de ces noms, il faut qu'il soit accompagné de l'ensemble des phénomènes inséparables de ces sortes de vents.

Nous avons d'ailleurs des descriptions fort détaillées de plusieurs de ces tourbillons. Les observations faites par M. Goldsberry, entre le cap Vert et le cap Palmas, nous montrent qu'ils ne diffèrent pas des trombes. Nous mettrons sous les yeux du lecteur une partie de la description qu'il en donne dans le *Magasin nautique de l'Atlantique* de Purdy (1re partie).

« Le ciel, dit-il, est clair, un calme parfait a régné pendant quelques heures et la pesanteur de l'air oppresse. Soudain, dans la région la plus élevée de l'atmosphère, on aperçoit un petit nuage rond et blanc, dont le diamètre ne semble pas excéder 5 à 6 pieds (1m52 à 1m83) ; ce nuage, qui semble fixe et parfaitement immobile, est l'indice d'un tornado.

» Par degrés, et d'abord très-graduellement, l'air devient agité et acquiert un mouvement circulaire ; les feuilles et les plantes dont le pays est tout couvert se lèvent à quelques pieds du sol ; elles se meuvent incessamment et tournent autour du même lieu. Les nègres, qui passent leur vie comme des enfants, s'amusent de ce mouvement rotatoire ; ils suivent la rotation des feuilles et des plantes agitées, se rient de leur innocent amusement et annoncent l'approche du tornado.

» Le nuage indice du phénomène a grandi maintenant, il continue à s'étendre et descend insensiblement à la plus basse région de l'atmosphère ; enfin, il devient sombre et obscur et couvre une grande partie de l'horizon visible. Pendant ce temps, le tourbillon s'est accru ; les navires dans les baies doublent leurs câbles ou laissent tomber leurs ancres près du rivage ; le tornado devient violent et terrible ; les câbles se cassent souvent, et la violente agitation des navires les fait se précipiter l'un sur l'autre. Beaucoup de huttes de nègres sont renversées, des arbres déracinés ; et quand ces tourbillons exercent toute leur violence, ils laissent des traces déplorables de leur passage. Ces météores, heureusement, ne durent qu'un quart d'heure ; ils se terminent par une forte pluie. (PIDDINGTON, n° 273.) »

Ainsi, pas le moindre doute que les tornados qui se forment entre le cap Vert et le cap Palmas ne soient pas des vents tourbillonnants. Goldsberry, qui a été témoin de toutes les particularités qu'il décrit, dit que ces vents soufflent sur ces contrées dix ou douze fois par an,

entre les mois de mai et d'octobre. Il lui a été donc aisé de s'assurer de leur mode de mouvement.

Le journal du *Tartar* lui-même, cité par M. Reid, raconte que ce navire a essuyé plusieurs tornados, dont l'un a *fait tout le tour du compas*. (PIDDINGTON, n° 272.)

M. Piddington apporte encore plusieurs autres cas de tornados incontestablement tourbillonnants. Nous en indiquerons encore ici quelques-uns aussi brièvement qu'il nous sera possible.

Le *Paquebot*, navire français des mers du Sud, au mois d'août 1841, fut démâté par un terrible coup de vent N. au large du cap de Bonne-Espérance et à l'Est du méridien de Natal. C'était un vrai tourbillon, puisqu'il avait une petite étendue, bien qu'il fût très-violent; le vent changeait de gauche à droite, c'est-à-dire en sautant du Nord au Sud en passant par l'Est.

Le navire *Monréal*, de Boston, allant des îles Sandwich à Hong-Kong, fut assailli le 7 novembre 1845, par 19° lat. Nord et 143°40′ de long. Est (P.), par un tornado d'une très-petite étendue; le vent soufflait si fort que le capitaine fut sur le point de couper ses mâts, quand il fut jeté sur le côté par la force du vent au centre. La course de ce météore parait avoir été du S-E. au N-O. environ. On a su que ces deux derniers tornados étaient petits, car les navires qui les ont rencontrés allaient de concert avec d'autres navires à peu de distance (30 à 65 milles), sans que ces derniers en aient été enveloppés.

Le navire *Tigris*, capitaine Robinson, en avril 1840, au Sud de Madagascar, par 37° ou 38° de latit., de 65°40′ à 72°40′ de longit. Est (P.), essuya une semblable tempête qu'on peut comparer à un simple coup de vent, parce qu'elle ne dura que quelques heures; mais le vent fut très-violent et rotatoire. Le navire capeya pendant quelque temps; il rencontra ensuite le centre de calme; le nuage était déchiré, et le soleil donnait à l'écume sur toute la surface de l'eau une teinte aussi blanche que la neige, et colorée comme l'arc-en-ciel dans toutes les directions. Lorsque le centre fut passé, le vent souffla avec une telle furie que les trois mâts de perroquet furent emportés, l'artimon mis en pièces, les voiles ferlées, emportées en morceaux sur les vergues.

Voici encore un autre cas plus remarquable, et ce sera le dernier que nous apporterons. Le capitaine Tapley, du trois-mâts-barque *Tenasserim*, dit dans son journal : « Le 29 avril 1840, à une heure de l'après-midi, cargué la misaine; apparence très-menaçante au Sud ; à deux heures et demie, mis le cap au Sud-Ouest afin d'échapper à un tourbillon. Par cette manœuvre, permis au tourbillon de passer à 200 yards (180$^{m}$) environ sous le vent. Serré toujours jusqu'à la grande voile de cape et repris le travers. »

M. Piddington, ayant trouvé ce récit extraordinaire, s'empressa de demander des détails au capitaine Tapley à ce sujet ; il en obtint la réponse suivante :

« J'éprouve un véritable plaisir à répondre à vos demandes aussi exactement que je le pourrai. A une heure de l'après-midi, 30 avril temps nautique (temps civil le 29), apparence très-menaçante au Sud, le cap à l'Est, un grain terrible du S-S-E. montait très-rapidement et ayant une apparence de très-grande brise. Quand le grain fut à moins de deux milles du navire, aperçu un fort tourbillon fuyant au N-N-O.; mis immédiatement le cap au Sud-Ouest, ou d'abord à l'Ouest pour donner au navire du sillage. En agissant ainsi, permis au tourbillon de dépasser le navire ; quand il fut passé, revenu au vent, cargué et serré partout. Bientôt après, 10 minutes environ, le cap au Sud-Ouest en moyenne, le grain tomba à bord du S-S-E., soufflant en plein ouragan ; on ne pouvait voir que la moitié de la longueur du navire sur l'eau, par suite des têtes de lames poussées sur nous par la force du vent et du déluge de pluie qui l'accompagnait. Je ne puis dire comment il tournait, tant nous étions pressés de nous en éloigner ; il tourbillonnait avec une vitesse furieuse et disparut dans la pluie au Nord-Nord-Ouest. (Piddington, n$^{os}$ 54, 72, 336, 373.) »

Ce tourbillon arrivait au large du cap Négrais et s'était déclaré vers la fin d'un fort typhon ; le navire *Tenasserim* en était au Nord et courait au Nord en dehors de ses bords pendant que plusieurs bateaux de l'expédition de Chine étaient démâtés ; on ne peut donc pas confondre ce tourbillon avec le typhon. Les détails d'ailleurs que le lecteur vient de lire ne laissent aucun doute sur les dimensions très-restreintes de ce météore.

D'après tous ces faits, il est incontestable que dans plusieurs endroits des côtes d'Afrique et ailleurs il se forme des tornados, vrais tourbillons qui ne diffèrent des cyclones que par l'étendue.

Maintenant, quant aux pamperos de l'Amérique du Sud, nous ne voulons pas être aussi explicite, parce que les faits qne nous possédons ne sont ni nombreux ni assez bien décrits pour qu'ils puissent nous permettre de formuler définitivement notre opinion. Cependant les phénomènes qui accompagnent ces vents paraissent prouver que ce sont des vents tourbillonnants.

Nous avons raconté au chapitre V de ce livre qu'un pampero a transporté à dix lieues de distance les eaux de Rio-de-la-Plata, et qu'il a pendant trois jours laissé à sec le lit de ce fleuve. Or, comment un vent rectiligne aurait-il pu dessécher le lit d'un fleuve comme celui dont il s'agit? On sait quelle est l'abondance de ses eaux; aucun de nos fleuves d'Europe no peut lui être comparé. Nous inclinons à croire qne ces tempêtes, à la vérité moins fréquentes que les autres des côtes d'Afrique, sont cependant comme elles des vents tourbillonnants. Les ravages qu'elles causent nous font croire qu'elles ne doivent pas être regardées comme des vents rectilignes.

Au reste, c'est l'opinion généralement admise par les savants qui se sont occupés de ce météore, bien qu'on convienne que dans ces mêmes parages, le plus ordinairement peut-être, les vents présentent les caractères d'un simple grain passager. Mais on ne doit point confondre les grains avec les pamperos proprement dits, parce que les caractères de ceux-ci ne conviennent pas à ceux-là. Ils ne transporteront et ils ne soulèveront pas les eaux, ils ne causeront pas de graves dommages et ne présenteront pas les phénomènes qui accompagnent les vents rotatoires. Dans ces cas, le vent n'aura de commun avec les pamperos que le lieu où il se déclare.

Venons maintenant aux trombes. Peltier a recueilli un nombre fort considérable de ces sortes de météores, dont quelques-uns seulement paraissent avoir été immobiles; les autres marchaient avec plus ou moins de rapidité et étaient en même temps animés d'un mouvement de rotation. Nous ne dirons rien sur les trombes de vapeur parce que nous en avons d'abord décrit un certain nombre dans lesquelles le double mouvement était bien constaté, et ensuite parce

que ce fait est aujourd'hui si incontestable et si incontesté que toute démonstration ultérieure devient inutile. Dans tous les cas, nous renvoyons le lecteur à l'ouvrage de Peltier.

Quant aux trombes de sable, nous avons vu au chapitre précédent que celles qui ont été observées par Stefenson dans le voisinage du Gange, et par Bruce dans le Grand-Désert, ont offert aussi un mouvement pareil. Bruce constata mieux ce fait parce qu'il put à loisir observer des montagnes de sable qui s'étaient récemment formées, et sur lesquelles on voyait parfaitement la forme des spirales. Ce fut le 17 novembre 1772, à 4 heures 30 de l'après-midi. « Nous fîmes halte, dit-il, dans une vaste plaine bornée par plusieurs petites montagnes de sable qui semblaient avoir été élevées très-récemment. Elles avaient depuis 7 jusqu'à 13 pieds de haut et formaient des cônes dont la pointe était très-aiguë et bien proportionnée à leur base. Ces montagnes étaient composées d'un sable très-fin, qui depuis des milliers d'années avait été le jouet des vents. Il est probable que le jour où nous avions eu un temps si calme et une chaleur si étouffante, et que le simoun nous avait tant fait souffrir entre El-Mout et Chiggre, le vent avait élevé des colonnes de sable dans cet endroit qu'on appelle Umdoum. Chaque montagne nous offrait encore des traces du mouvement tourbillonnant des colonnes. (Bruce, chap. 12, p. 647.) »

Au reste les trombes de sable, celles surtout qui ont de grandes dimensions, ne pourraient se conserver et moins encore se déplacer sans être animées aussi d'un mouvement rotatoire, car on ne comprendrait pas sans cela pourquoi le sable s'élève en colonne plutôt que sous forme de nuages. On sait que les trombes de sable possèdent assez souvent des dimensions surprenantes, non seulement en hauteur (nous avons vu que l'extrémité supérieure se perd quelquefois dans l'atmosphère), mais encore en diamètre, qui a été parfois calculé à plus de 100 mètres. Leur violence est telle qu'elle peut rivaliser avec la furie des cyclones.

On connaît le fait rapporté par Hérodote des troupes que Cambyse envoya contre les Ammonites. « Les Ammonites racontent, dit-il, que l'armée étant partie de l'oasis qui est située à sept jours à peu près de marche de Thèbes, et qu'ayant fait presque toujours, dans le sable, environ la moitié du chemin qui sépare cette ville de leur

pays, tandis qu'elle avait fait halte pour prendre sa nourriture, il s'éleva un vent impétueux du S. qui l'ensevelit sous des montagnes de sable. (Herodoti, *Hist.*, *lib.* 3°, n° 26.) »

Bruce affirme avoir vu de véritables montagnes de sable sous lesquelles, d'après le récit de son guide Ibris, avait été ensevelie une des plus nombreuses caravanes partie d'Egypte sous la conduite des Arabes Ababdès et des Arabes Bisharéens, avec plusieurs milliers de chameaux. (*Ibid.*, chap. 12.)

On connaît ce qui arriva en 1805 à la célèbre caravane qui, partie du Maroc, se dirigeait vers Tombouctou. Le désert avait été comme transformé par les trombes; à la place des sources, la caravane trouva des collines de sable qui les avaient taries, les 2,000 personnes et les 1,800 chameaux qui la composaient y laissèrent la vie.

Or, est-il possible quo des masses de sable si énormes puissent marcher, je ne dis pas longtemps, mais quelques instants seulement sans perdre leur forme cylindrique ou conique, si on ne suppose pas ces météores animés d'un mouvement de rotation? Nous comprenons quo le sable s'élève du désert par l'action électrique de la surface du désert lui-même, mais nous ne pouvons comprendre comment ce sable prend la forme cylindrique plutôt qu'uno autre, ni comment ces formes se conservent sans varier, malgré la marche plus ou moins rapide du météore. Il faut nécessairement admettre que les trombes de sable et même les trombes de vapeur cylindriques ou coniques qui se déplacent, en conservant leur forme, sont animées d'un mouvement rotatoire autour de leur axe, car ce mouvement seul est capablo de leur donner cette forme et de la leur conserver.

Les trombes de sable, d'ailleurs, ne diffèrent pas de celles qui se forment dans nos climats ot qui commencent par un petit tourbillon qui grossit peu à peu, enlevant les brins de paille, la poussière ou les feuilles qu'il rencontre, et finit par apporter parfois le ravage sur les lieux où il passe. Nous l'avons déjà vu plus haut, et nous pourrions apporter grand nombre de faits si nous les croyions nécessaires.

Franklin, dans la lettre douzième à Collinson, décrit avec beaucoup de détails une de ces trombes qu'il observa lui-même dès sa

première apparition. Le lecteur en trouvera beaucoup d'autres dans les deux ouvrages cités de Peltier et de M. Piddington.

Il n'existe donc pas de différence entre les trombes de sable et les autres qui se forment sur n'importe quel endroit de la terre ; ni entre les trombes et les tourbillons de nos latitudes ou d'un climat quelconque, puisque tous ces météores sont accompagnés d'électricité et sont animés de mouvements semblables.

Nous avons affirmé aussi que tous ces météores ne diffèrent pas non plus des cyclones, puisque dans les cyclones aussi existent l'électricité et le double mouvement.

Nous croyons inutile de nous arrêter à démontrer ici l'existence de ce dernier phénomène dans les cyclones ; on sait que le mouvement rotatoire constitue un des principaux caractères de ce terrible météore, en sorte que tout cyclone doit nécessairement se propager sans exception par un mouvement pareil.

On pourrait nous objecter, que dans les cyclones il existe un centre de calme qui ne se trouve pas dans les trombes; de plus, que le vent change avec plus ou moins de rapidité, en passant successivement par les divers points de l'horizon ; ces particularités n'ont pas lieu dans les trombes. En outre, celles-ci affectent la forme cylindrique ou conique, ce qui ne peut être affirmé des typhons.

Nous répondrons que cette diversité de phénomènes provient uniquement de l'étendue différente de ces météores. En effet, d'abord relativement à la manière dont le vent souffle dans les typhons, elle ne pourrait être la même que celle des trombes et des tourbillons de dimensions ordinaires, parce que, vu la petitesse du diamètre de ces derniers, la courbe décrite par le vent est très-sensible, tandis que dans les typhons dont l'étendue atteint parfois jusqu'à 500 milles de rayons (ordinairement il a cette mesure pour diamètre), le vent, bien que tourbillonnant, ne peut être apprécié que comme soufflant en ligne droite. Le changement successif du vent, d'ailleurs, est une preuve incontestable que tout le disque du cyclone tourbillonne ; seulement le diamètre de ces météores étant considérable, quelle que soit la vitesse de rotation qu'on lui suppose, il faut un temps plus ou moins grand pour que tout le disque décrive un tour sur lui-même. Voilà pourquoi le tourbillonnement se traduit par un

vent qui varie de direction en passant successivement par tous les points de l'horizon. La même chose arrive dans les trombes lorsqu'elles possèdent des dimensions peu communes, comme nous le verrons plus loin.

Quant au centre de calme, s'il n'a pas été constaté dans les trombes et dans les petits tourbillons de nos climats, ce n'est pas une preuve qu'il n'y existe pas. Supposez qu'un observateur se trouve sur le passage d'un de ces météores ordinaires, il lui sera impossible d'apprécier le calme intérieur, dans la supposition que ce calme s'y trouve, car cet espace ne pouvant être que très-resserré passera sur lui rapidement. Se trouvant en partie dans le centre de calme, en partie dans l'espace agité, l'observateur ne pourra se rendre compte que de l'impression que l'agitation lui fait éprouver, parce que cette impression est plus violente et son action plus longue ; je dis plus longue, car le centre de calme passe rapidement, tandis que le reste du météore emploie un temps plus ou moins long.

Dans les typhons, la courbe intérieure du vent ou l'espace de calme, d'après les évaluations de MM. Tom, du capitaine Burn et de Piddington, peut avoir un diamètre de vingt et même de trente milles ; il n'est donc pas étonnant que ce calme soit appréciable, puisque son passage dure plusieurs heures sur un même endroit.

Nous sommes d'avis que dans tout météore tourbillonnant il doit nécessairement exister un centre de calme, et particulièrement dans les trombes, lorsque surtout leur forme est bien nette et se conserve bien définie ; car, comme nous l'avons déjà dit plus haut, il ne serait pas possible de se rendre compte de cette forme sans supposer tout le météore animé d'un mouvement rotatoire autour de son axe.

Lorsque les dimensions des trombes sont restreintes, il est impossible, ou tout au moins fort difficile, de se rendre compte de l'existence du calme à leur centre ; mais lorsqu'elles excèdent les dimensions ordinaires, il est possible de le constater.

Nous possédons plusieurs faits qui confirment notre manière de voir. Un premier fait ; nous le voyons dans le tourbillon décrit par le P. Boscowich et dont nous avons parlé deux chapitres plus haut. Si l'on fait attention aux effets produits par le vent, on sera convaincu que le vent soufflait à la fois en direction contraire de tous

les côtés de ce météore et que ces vents étaient séparés par un espace de calme. Nous avons vu que le météore est passé sur des murs parallèles dans le sens même de leur direction. Ces murs étaient au nombre de quatre ; ce sont les deux du milieu qui ont été directement investis par le météore ; or ces murs sont restés debout, tandis que les deux autres latéraux ont été renversés en sens contraire vers ceux du milieu. Il nous semble que ces deux derniers n'auraient pu rester debout si le tourbillon n'avait eu lui aussi un centre de calme comme les typhons, et les murs latéraux ne seraient pas tombés en sens contraire si le vent n'avait pas soufflé des deux côtés en direction opposée.

Le même Boscowich parle d'un autre tourbillon arrivé à Vérone le 29 juillet 1686, dont nous avons aussi parlé, et dont il existe une description très-détaillée de François Spoleti, qui a visité les lieux ravagés par le météore quelques instants après son passage. Le P. Boscowich a puisé à ces détails et à ceux qu'en a laissés Montanari. Or, ce tourbillon, qui paraissait avoir au moins un mille de diamètre, a produit des effets analogues au tourbillon de Rome. Deux murs parallèles qui se trouvaient à une certaine distance ont été renversés l'un vers l'autre, et les arbres déracinés par ce météore ont été jetés tous avec leurs branches tournées vers un centre commun, qui était précisément le chemin suivi par le centre du météore. (PELTIER, chap. 2, page 153.)

Le docteur Hare, dans la description d'une grande trombe qu'il a observée à New-Brunswick au mois de juin 1836, dit que ce météore renversa tous les arbres qui se trouvaient le long de son passage ; mais ceux qui se trouvèrent sur le passage du centre étaient tombés parallèlement au chemin qu'il avait parcouru, tandis que ceux qui se trouvaient de côté et d'autre avaient été couchés avec leurs branches en regard, c'est-à-dire tournés vers ce chemin. (*Transact. philos.*, vol. 5.)

Le même phénomène a été remarqué dans la célèbre trombe de Chatenay. Peltier rapporte plusieurs autres faits où les mêmes phénomènes ont été constatés. Nous croyons inutile de nous arrêter davantage sur la démonstration de ce point. Cependant nous apporterons deux autres faits qui prouveront que les trombes se comportent

commme les typhons, lorsque leur diamètre dépasse les dimensions ordinaires.

L'un de ces faits a été observé par le capitaine Beechey et raconté par lui dans son *Voyage au détroit de Behring*, dans les années 1825-1828, en ces termes : « Comme nous étions à la hauteur de Clermont-Tonnerre, il s'en fallut peu que nous ne tombassions au milieu d'une trombe d'une grandeur peu ordinaire; elle s'approchait de nous accompagnée d'averse, d'éclairs et de tonnerres; on ne la vit que lorsqu'elle était près du vaisseau. Aussitôt que nous fûmes dans son rayon d'influence, nous eûmes un coup de vent qui nous obligea de serrer les voiles; les huniers que nous ne pûmes pas ferler à temps faillirent être déchirés en deux. Le vent, qui soufflait avec violence, *changeait à chaque instant de direction*, comme s'il était chassé en rond, dans une courte spirale; la pluie qui tombait par torrents suivait aussi une ligne courbe et avait des intermittences dans sa chute. (Peltier, chap. 18, p. 132.) »

L'autre est raconté par Franklin, dans une lettre au docteur Parkins, datée de Philadelphie, 4 février 1753, en ces termes :

« Vous convenez que le vent souffle de toutes parts vers un tourbillon d'une grande distance à la ronde. Un pêcheur de baleines de Nantucket, homme fort intelligent, m'a rapporté que trois de leurs vaisseaux, qui étaient allés à la recherche des baleines, ayant été surpris par le calme, restèrent en présence les uns des autres à la distance d'une lieue environ (si je m'en souviens bien), formant à peu près un triangle équilatéral : au bout de quelque temps, ils aperçurent une trombe vers le milieu de l'aire du triangle, et il s'éleva un vent frais et gaillard *qui enfla leurs voiles à tous les trois*, et il leur parut à tous, tant par l'inflexion de leurs voiles que par la direction de leurs vaisseaux à chacun, *qu'ils avaient tous à la fois la trombe au-dessous du vent*, et ils s'assurèrent réciproquement l'avoir bien remarqué lorsqu'ils se trouvèrent rassemblés et à portée de conférer ensemble. (Franklin, *Œuvres*, t. 2, let. 1re à Parkins.) »

Ainsi donc, le mouvement tourbillonnant des trombes et de quelques coups de vent de petite étendue ne sont pas des phénomènes essentiellement différents de celui qui s'observe dans les tornados et

dans les typhons : le changement successif du vent dans ceux-ci et le tourbillonnement continu dans ceux-là est uniquement le résultat de la différence de leur diamètre ; car, comme on vient de le voir, les trombes, les ouragans et les tourbillons se comportent de la même manière que les cyclones, lorsqu'ils possèdent une dimension peu ordinaire ; ils ont comme eux un centre de calme et le vent varie de la même manière.

Maintenant, quant aux formes et aux apparences différentes de tous ces météores, nous dirons que de ces différences on ne peut tirer aucun argument ni favorable ni défavorable à l'identité de leur nature et de leur origine. La trombe offre généralement l'aspect d'un cylindre ou d'un cône. Quelle est la forme du nuage des autres météores ? L'étendue de leur diamètre ne nous permet pas de l'apprécier. Si l'œil pouvait embrasser l'immensité de superficie occupée par le cyclone, nous verrions une colonne de vapeur tout-à-fait semblable à celles des trombes. Le tournoiement d'ailleurs et le calme central lui-même nous font incliner à croire qu'il en est ainsi. Car si le vent change en passant successivement par tous les points du compas se faisant sentir, non seulement à la surface de la terre, mais aussi à de grandes altitudes, il nous paraît fort probable que la forme des cyclones, des tornados et des autres vents rotatoires est comme celle des trombes, cylindrique ou conique.

Cela ressortira mieux, lorsque nous étudierons particulièrement les cyclones. On verra alors par les faits que nous mettrons sous les yeux du lecteur que le typhon est formé, lui aussi, d'une masse de nuages tournoyante, affectant la forme des trombes, bien que d'une hauteur modique par rapport à son diamètre ; car le diamètre peut atteindre jusqu'à 50 fois sa hauteur. En sorte que le cyclone doit être considéré comme un disque plutôt que comme une colonne, mais toujours est-il que sa forme reste cylindrique comme celle des trombes.

Les limites extrêmes des typhons ou cyclones ne nous sont pas encore connues. On a calculé qu'ils ont eu parfois jusqu'à mille milles de diamètre ; mais nous ne pouvons en aucune façon établir de quel diamètre sont les plus petits. Il est hors de doute qu'il s'en forme de fort restreints en étendue, et qui rivalisent en intensité et en durée avec les plus grands. On leur refuse alors le nom de typhons ; on les

appelle simplement des tornados ou des cyclones-tornados; mais en réalité c'est identiquement le même phénomène. Il est probable que les autres météores tourbillonnants, d'une étendue plus petite, de moindre violence et de moindre durée, sont aussi un commencement de typhon, ou, pour ainsi dire, un typhon en miniature.

M. Piddington affirme que « nous pouvons supposer une série complète de cyclones quant à la grandeur, depuis la *trombe*, qui devient un tourbillon quand elle atteint la terre, en passant par le tornado, de quelque dizaine ou de quelque centaine de yards de diamètre (9 à 10 mètres), jusqu'aux grands ouragans de l'Atlantique ou de l'Océan Indien, car d'une part nous ne pouvons pas limiter la petitesse des véritables cyclones, vu que nous en avons examiné qui avaient probablement moins de 100 milles de diamètre, ou même qui ne dépassaient peut-être pas 50 milles dans les mers Indiennes; et, d'autre part, quand nous en venons aux plus petits en forme de tornado, aux cyclones inférieurs, dis-je, à 50 milles de diamètre, il n'est pas bien sûr jusqu'ici que leur rotation suit invariablement la même direction dans le même hémisphère que les plus grands ouragans : ainsi nous ne pouvons pas affirmer précisément que les plus petits cyclones soient sujets aux mêmes lois ou naissent des mêmes causes. (N° 27.) »

« Mes idées personnelles, avait-il dit ailleurs, sont que les cyclones sont des phénomènes *purement électriques*, formés dans les plus hautes régions de l'atmosphère, et descendant sous une forme aplatie et discoïde, jusqu'à la surface de l'Océan, où ils marchent plus ou moins rapidement. Je pense que les tornados tourbillonnants, les trombes et les tempêtes de poussière ont un certain rapport avec eux. C'est le même météore sous une forme concentrée, mais nous ne pouvons pas encore dire le point où la loi qui régit les mouvements des plus grandes espèces cesse d'être invariable. (N° 38.) »

M. Piddington serait donc comme nous porté à regarder tous les météores tourbillonnants comme une série complète de cyclones, mais il s'arrête devant l'incertitude où nous sommes sur la direction que les petits météores suivent dans leur mouvement rotatoire. Nous croyons cependant que quand même nous fussions certains que ces



météores de petites dimensions ne suivissent pas la loi de leur hémisphère, ce ne serait pas une raison suffisante pour leur attribuer une autre cause ou pour les supposer assujettis à d'autres lois.

Il existe quelque cas de véritables typhons ou cyclones qui n'ont pas suivi dans leur marche la loi de l'hémisphère où ils se sont déchaînés et d'autres qui sont restés stationnaires. M. Piddington lui-même en mentionne quelques-uns. Serons-nous contraints pour cela de donner à ces ouragans une autre origine, ou de les supposer soumis à d'autres lois, ou de les croire, pour ainsi dire, doués d'une autre nature? Non. On doit donc en dire autant des autres météores.

Cependant, bien que nous soyons disposé à ne voir dans tous les vents tourbillonnants, depuis le typhon jusqu'à la trombe, qu'un phénomène unique, toutefois nous nous abstiendrons de formuler définitivement ici notre opinion. Tout ce que nous avons pu dire jusqu'à présent sur les ouragans des basses latitudes est bien peu de chose vis-à-vis de ce qu'il nous reste encore à dire : nous n'avons fait que simplement effleurer la matière. Nous comprenons qu'il n'est pas possible, après un simple aperçu général et rapide de quelques faits, d'asseoir sur un sujet aussi vaste et aussi difficile une opinion quelconque.

C'est pourquoi dans le livre qui va suivre, le lecteur ne trouvera pas la théorie des cyclones et des vents analogues. Nous nous réservons de traiter cette importante matière dans un autre volume, où nous nous proposons de lui donner le plus ample développement.



# LIVRE IV

## NOUVELLES THÉORIES.

### CHAPITRE I.

#### THÉORIE GÉNÉRALE DES VENTS DE SURFACE.

Avant d'aborder le développement de nos théories, nous prions de nouveau le lecteur de ne pas s'engager dans la lecture de ce quatrième livre sans avoir lu les trois qui précèdent; il risquerait de ne pas suivre nos raisonnements, et, dans tous les cas, il ne pourrait les trouver justes.

Nous avons vu que l'électricité possède toujours dans l'air, dans les jours orageux comme dans les jours sereins, une certaine tension, et qu'elle doit y faire naître toujours des courants d'une intensité proportionnelle à cette même tension. Cela posé, essayons de nous rendre compte de la manière dont les choses se passent dans l'atmosphère, afin de découvrir, s'il est possible, quelle est, théoriquement du moins, la direction de ces courants. Pour mieux réussir, jetons d'abord un rapide coup-d'œil sur les phénomènes analogues de l'électricité artificielle.

Afin qu'une machine électrique laisse échapper une étincelle, le voisinage d'un corps conducteur en communication plus ou moins directe avec le sol est nécessaire. Un corps, même conducteur, s'il est isolé, ne peut la déterminer qu'à une très-faible distance, et cette étincelle sera très-petite, par rapport à celle qu'on peut obtenir à

l'aide d'un corps en communication avec le sol. Les mêmes choses doivent se passer au sein de l'atmosphère.

La foudre ne sillonne l'espace que lorsque la tension d'un nuage est devenue assez forte pour vaincre la résistance du milieu, et il est nécessaire qu'à une certaine distance se trouve ou le sommet d'une montagne ou d'un édifice, ou un autre nuage plus ou moins en communication avec le sol, ou bien un nuage beaucoup moins électrisé, comme sont les amas de vapeurs qui n'ont pas encore subi de condensation suffisante pour devenir visibles. Et, dans tous les cas, il faut que l'air ait acquis un certain degré de conductibilité. La foudre s'élancera aussi de la surface terrestre lorsque le fluide y aura atteint son maximum de tension, et lorsque les parties électrisées de la terre se trouveront en conditions analogues à celles que nous venons d'indiquer pour les nuages.

En dehors de ces conditions, la foudre ou le jaillissement instantané de l'électricité n'est pas possible. Or, comme il n'est pas facile que ces conditions se réalisent, la foudre n'aura lieu que rarement. C'est ce qui arrive en effet ; car, en moyenne, pour la France par exemple, pour l'Angleterre, l'Allemagne et l'Italie, le nombre des jours de tonnerre s'élève rarement à 20 par an.

Comment se comportera donc habituellement l'électricité dans l'atmosphère ? Elle se comportera précisément comme sur nos appareils : *elle mettra toujours l'air en mouvement.*

Le mouvement de l'air occasionné par l'électricité artificielle jusqu'au moment du maximum de tension est dirigé vers l'appareil sur lequel elle est accumulée. A ce moment, s'il n'y a pas de corps environnants sur lesquels l'électricité puisse se jeter, on observe dans l'obscurité des gerbes de lumière sur tous les points saillants de l'appareil ; mais cette fois, le mouvement de l'air est en sens contraire. Maintenant, c'est un vent *d'impulsion ;* dans le cas précédent, c'était un vent d'*aspiration*. Donc, l'électricité, soit qu'elle reste accumulée sur un conducteur, soit qu'elle s'en échappe doucement, *produit toujours dans l'air un vent* sans donner aucun autre indice de sa présence.

D'un autre côté, comme nous avons démontré que les phénomènes électriques se manifestent de préférence sur les montagnes et sur les

parties élevées de la terre, ce sera là aussi que le mouvement de l'air doit généralement se déclarer avant que sur tout autre point, et plus sensiblement que partout ailleurs (1).

En effet, supposons d'abord que le ciel soit beau ; voici comment un vent peut commencer à se déclarer et comment le ciel peut commencer à se couvrir. Les molécules de vapeur qui se forment sur les surfaces liquides s'élèvent toutes électrisées de la même manière et tendent par conséquent à s'éloigner les unes des autres. Lorsque nous parlerons, dans un autre travail, de la constitution, de la formation et de l'élévation des vapeurs, nous dirons comment les vapeurs s'élèvent et les nuages se forment dans un point quelconque du ciel, indépendamment des montagnes ; ici, nous devons seulement expliquer comment les vents prennent naissance, quel que soit l'état du ciel. Nous commencerons par le cas normal, qui est celui du ciel serein.

Nous disions donc que les molécules de vapeur s'élevant de la surface terrestre, qui les a données toutes électrisées de la même manière, s'éloignent les uns des autres et s'éparpillent çà et là en s'élevant toujours dans l'atmosphère (2).

Ce mouvement des vapeurs n'est pas encore un véritable courant, car elles n'ont encore aucune direction déterminée. Mais s'il se trouve à quelque distance d'elles une chaîne de montagnes, les vapeurs les

(1) Nous n'entendons pas affirmer que les vents d'aspiration soient constamment dirigés vers les montagnes, ni que le ciel commence à se couvrir toujours dans cette direction ; car lorsque nous parlerons ailleurs de la formation des nuages, nous verrons qu'ils peuvent se former sur un point quelconque de l'atmosphère, sur des pays de plaine comme sur des pays montagneux. Pour le moment, nous nous proposons seulement d'expliquer le fait incontestable de la direction ordinaire des vents vers les parties élevées de la terre, nous réservant, au chapitre des brises et plus particulièrement à celui des orages, de parler du vent qui souffle en sens contraire. Avant de clore ce chapitre, nous essayerons aussi de rendre compte des autres directions.

(1) Qu'on n'oublie pas que les vapeurs n'ont pas toujours le même signe, car le signe + ou — ne leur vient que de l'état du ciel ; avec un ciel pur, elles sont électrisées positivement. Qu'on n'oublie pas non plus que la terre, elle aussi, dans ces conditions, est électrisée de la même manière, c'est-à-dire positivement. Il n'en est pas de même des sommets élevés des montagnes, car, sous l'influence de l'électricité de l'atmosphère, ils présentent le signe négatif lorsque la tension de celle-ci prédomine.

plus rapprochées se dirigeront vers leurs sommets; d'autres en contact avec elles viendront prendre la place qu'elles ont laissée, d'autres les suivront à leur tour, et ainsi de suite. C'est de la sorte que, d'après nous, le courant commence à s'établir. Le vent a en général son origine près des hauteurs des montagnes et s'étend ensuite de proche en proche en sens contraire de sa direction. Voyons si les faits viennent confirmer cette manière de voir.

Nous avons déjà dit au premier livre de cet ouvrage que plusieurs observateurs ont constaté, non seulement la fréquence des vents sur les hauts sommets des montagnes, mais aussi l'existence de vents qui ne se faisaient pas sentir dans les régions inférieures, et nous croyons avoir démontré en même temps que ces vents ne peuvent avoir une explication plausible par des différences de température.

Mais un des arguments les plus concluants nous est fourni par l'existence simultanée des vents contraires dirigés vers les montagnes. Ce fait a été observé il y a déjà plus d'un siècle par Franklin. Ce savant est le premier peut-être qui ait essayé d'en donner l'explication. Selon lui, ces vents étaient l'effet d'une réverbération. Cadwalader-Colden, de New-York, dans une lettre qu'il lui écrit, datée du 2 avril 1754, assure avoir été, lui aussi, plusieurs fois témoin du même phénomène. Il ne le croit pas cependant susceptible de recevoir l'explication que le savant physicien de Philadelphie lui donne, parce qu'il a vu ces vents s'étendre trop loin des montagnes. Voici ses intéressantes paroles :

« Par rapport aux vents contraires, dit-il, qui soufflent des côtes opposées des montagnes, je ne suis pas content de la solution que vous en donnez par leur réverbération, parce que ces vents s'étendent trop au loin pour qu'une réverbération puisse les pousser jusque-là. Il y a 40 milles de New-York à nos montagnes, au travers desquelles passe la rivière de Hudson. Elle coule entre les montagnes dans l'espace de 12 milles, et il y en a environ 90 du côté du Nord de ces montagnes, à Albany. J'ai été moi-même plus d'une fois à bord d'un vaisseau où nous avons eu un fort vent de N. contre nous tout le long de la route depuis New-York, pendant deux ou trois jours. Nous avons rencontré des vaisseaux d'Albany qui nous ont assuré que de l'autre côté des montagnes ils avaient eu pendant

le même temps un fort vent de S. constamment contre eux, et la *même chose arrive fréquemment.* » Le vent était donc d'un côté et d'autre des montagnes dirigé vers elles.

« J'ai souvent vu, continue le même auteur, soit dans la rivière et dans des endroits où il ne pouvait y avoir des vents réverbérés, soit en pleine mer, deux vaisseaux naviguant avec des vents contraires dans l'espace d'un demi-mille l'un de l'autre ; mais c'est ce qui n'arrive qu'avec des vents doux, et au milieu d'un calme général partout aux environs. (FRANKLIN, *Œuvres*, Paris 1773, t. 2, météores. ) »

Saussure a aussi observé ce fait sur les Alpes : « En approchant de la plaine du Mont-Cenis, et tandis que nous la dominions encore, j'observais, dit-il, un phénomène météorologique bien intéressant par les inductions qu'on peut on tirer. La plaine, ou plutôt la vallée du Mont-Cenis, est ouverte au Nord-Ouest du côté de la Savoie et au Sud-Est du côté du Piémont, tandis qu'au Nord-Est et au Sud-Ouest elle est bordée de hautes montagnes. Sur le soir, ces vallées, tant du côté du Piémont que du côté de la Savoie, étaient remplies de nuages, et, par un hasard assez extraordinaire, il soufflait des vents opposés en Savoie et en Piémont. (*Voyages, etc.*, vol. 5, chap. 8, n° 1,288.) »

Mais ce phénomène est bien loin d'être extraordinaire, comme Saussure le croit ; c'est, au contraire, un phénomène assez commun que tout observateur attentif a pu constater bien souvent. Quant à moi, j'ai observé ce fait un grand nombre de fois en Italie sur différents sommets des Apennins, et en particulier sur un des derniers contreforts de cette chaîne qui s'étend vers la mer, près de Masse-Carrare, et qui s'arrête à une petite distance de la ville, en direction du Nord-Est. J'ai vu par un ciel assez beau des voiles de vapeur se diriger vers le sommet de cette montagne, venant à la fois du Sud, du Sud-Ouest, de l'Ouest et du Nord-Ouest.

J'ai constaté ce même fait en France, pour les Pyrénées et pour les monts d'Auvergne. Pour ces derniers, le phénomène est si fréquent qu'on peut le dire ordinaire. Il n'y a presque pas de semaine, surtout pendant l'été, où il ne se manifeste d'une manière plus ou moins sensible. En tournant le dos au Cantal, qui se trouve à l'Est

de moi, je vois d'abord des voiles de vapeur partir de l'O. et se diriger vers l'E., les uns en passant par le N., les autres par le S. Lorsque ces voiles commencent à se former, on serait tenté de croire que le mouvement provient de deux courants distincts aux points opposés de l'horizon ; mais on ne tarde pas à s'apercevoir que toute la masse d'air visible est dirigée vers l'Est en convergeant vers un point, le Plomb du Cantal.

C'est ici le lieu d'indiquer une particularité remarquable qui accompagne cette espèce de vent, et que j'ai constatée toutes les fois que j'ai pu me mettre en observation dès le début du phénomène. Ce sera une preuve de plus à l'appui de notre théorie. Cette particularité est que le ciel, malgré les cirrus qui le parcourent, conserve sa teinte azurée. Ce n'est que près des montagnes qu'il commence à devenir gris, et cette couleur s'étend successivement de proche en proche en sens contraire du mouvement de l'air.

J'ignore si ce fait a été encore constaté par les météorologistes. Je ne me souviens pas de l'avoir vu relaté nulle part ; mais, je le répète, c'est un fait constant. Si vous habitez un pays en vue de montagnes tant soit peu élevées, il vous sera aisé de vous en assurer vous-même. Vous verrez que lorsque le ciel se couvre, ce phénomène commence à se déclarer du côté des montagnes, et c'est de là qu'il s'étend ensuite au loin. Vous verrez, dis-je, que lorsque le temps est beau et le ciel pur, si les nuages légers commencent à se former et se dirigent vers les montagnes, le ciel ne commencera pas à en être uniformément couvert du côté d'où ils viennent, mais du côté des montagnes elles-mêmes.

Je crois qu'on peut avancer comme proposition générale que toutes les fois que le ciel est devenu uniformément nuageux sur un pays quelconque, surtout si cet état du ciel persiste pendant quelque temps, ces nuages ont leur origine sur quelque sommet ou sur quelque chaîne de montagnes.

Je trouve dans les Comptes-Rendus de l'Académie une observation faite en 1855 par M. Rozet, qui confirme cette proposition. « Vendredi 9 février, dit-il, le ciel fut caché à Paris par une couche de *cumulus* assez régulière, paraissant peu élevée et ne donnant ni pluie ni neige. Parti vendredi à 8 heures 15 du soir par le train

express de la gare du chemin de fer de Lyon, j'étais rendu à Dijon le samedi 10, à 2 heures 20 du matin, et à 3 heures 30 à Châlons-sur-Saône. Jusqu'à la station de Montbard nous étions restés dans la couche des nuages ; peu après Montbard, nous pénétrâmes dans cette couche, et un peu avant d'arriver à la grande route de Blaisy, vers 410$^{m}$ d'altitude, nous nous trouvâmes subitement au niveau de la surface supérieure de cette couche terminée par une surface légèrement mamelonnée et assez exactement horizontale. Au-dessus, le ciel parfaitement pur était parsemé d'une infinité d'étoiles. En sortant de la route, nous rentrâmes bientôt dans le brouillard, pour en sortir un peu avant d'arriver à Dijon. Descendu pendant les 5 minutes de station que l'on fait à la gare de cette ville, je vis que les nuages arrivaient *jusqu'au pied de la chaîne de la Côte-d'Or*, c'est-à-dire à 270$^{m}$ d'altitude, où ils se terminaient par une surface parfaitement horizontale, qui se continuait le long de cette chaîne *au Nord et au Sud tant que la vue pouvait s'étendre*. Cette couche de nuages s'étendait beaucoup au Sud de Châlons ; ainsi, elle avait plus de *400 kilomètres dans le sens du Nord au Sud et autant peut-être dans le sens de l'Est à l'Ouest*. (*Comptes-Rendus*, 1855, vol. 40, page 431.) »

S'il restait des doutes sur la vérité de ce fait, on pourrait aujourd'hui s'en assurer par le télégraphe. Je suis convaincu que toutes les fois que les nuages couvrent une grande étendue de pays, le télégraphe consulté nous apprendrait que ces nuages reposent sur quelque chaîne de montagnes, bien que le pays s'en trouve fort éloigné.

Nous croyons inutile d'insister davantage sur ce point. Nous avons déjà parlé au long, dans un chapitre spécial, du rôle des montagnes à la surface terrestre. On a vu que les phénomènes électriques doivent se manifester de préférence sur les sommets élevés de la terre ; il suit de là, comme nous le disions au commencement de ce chapitre, que le mouvement de l'air doit être dirigé plus généralement vers les montagnes et vers les parties plus proéminentes de la terre. Les météorologistes ont déjà commencé à s'apercevoir de l'action qu'exercent les montagnes sur les ouragans. C'est, si je ne me trompe, M. Plantamour qui l'a signalée le premier. Nous aurons occasion de constater plusieurs autres fois l'influence

des terres sur la direction des vents ; nous la verrons dans l'alizé, dans la mousson, dans la double brise des régions équatoriales et dans les orages de nos climats tempérés. Nous étudierons au chapitre suivant la nature de cette action.

Nous venons de voir pourquoi les vents prennent généralement la direction des montagnes ; disons maintenant comment ils peuvent continuer à suivre ce même mouvement sans changer de direction, quoique l'air des montagnes ait cessé d'être pur, et comment les nuages peuvent s'étendre loin des montagnes à plusieurs centaines de lieues à la ronde.

Lorsque les premières molécules de vapeurs sont arrivées près des montagnes, elles y adhèrent, et l'on comprend sans peine qu'il ne peut en être autrement, puisque les vapeurs et les montagnes ont le signe électrique contraire. L'électricité des vapeurs ne s'écoule pas au sol parce que les vapeurs sont de mauvais conducteurs. Les autres molécules qui se succèdent s'y arrêtent aussi ; ainsi l'air peu à peu s'en remplit, le ciel commence à se ternir et perd insensiblement sa première beauté. Voilà pourquoi l'air commence par se voiler d'abord près des montagnes, et pourquoi ce voile s'étend ensuite en sens contraire de la direction du vent.

Tant que le ciel n'a pas changé sensiblement d'aspect, les cimes des montagnes continuant à rester à l'état négatif sous l'influence de l'électricité de l'atmosphère, le vent doit suivre toujours la même direction ; mais lorsque le ciel se voile et les cimes des monts s'enveloppent de nuages, pourquoi la direction du courant reste-t-elle la même ? Leur signe électrique étant changé, comment se fait-il que les molécules de vapeur ne prennent pas un autre chemin ?

Il est certain que dans ce nouvel état de choses les vapeurs et les nues qui en résultent étant, comme nous venons de le dire, des corps mauvais conducteurs, ne perdent pas leur électricité par le contact des terres ; les cimes des montagnes enveloppées de nuages se trouveront donc incontestablement à l'état positif. Mais il ne faut pas oublir que les signes + et — ne sont que des phénomènes de relations, et qu'un corps avec la même quantité de fluide condensé sur lui, c'est-à-dire avec la même charge électrique, peut présenter ces deux signes en deux instants successifs très-rapprochés ; il suffira pour cela qu'une

modification électrique survienne sur quelques-uns des autres corps qui l'environnent ; à plus forte raison le signe d'un corps pourra changer si celui de quelqu'un des autres qui l'environnent change. C'est ce qui a lieu ici. Les montagnes devenant positives, les vapeurs, sous l'influence de cette électricité, prendront le signe négatif.

Nous avons vu que les électromètres accusent rarement des moments neutres ; ces moments sont en outre très-courts lorsqu'ils se manifestent. C'est que dans l'antagonisme électrique, entre la terre et l'atmosphère, difficilement les deux forces se font équilibre ; les vapeurs qui se trouvent soumises à l'action de ces deux forces prendront donc le signe + ou le signe —, selon que la tension de la terre est inférieure ou supérieure à celle de l'atmosphère.

Dans le courant que nous venons d'étudier, il y aura sans doute un temps d'arrêt, un instant plus ou moins prolongé où le mouvement se ralentira et cessera aussi tout à fait ; ce sera justement l'instant où la tension de l'électricité atmosphérique et terrestre commence à se contre-balancer ; mais quand la tension électrique terrestre l'emporte, le mouvement s'animera de nouveau.

Voilà donc comment et pourquoi les vapeurs peuvent continuer à marcher vers les sommets élevés des terres, s'y amonceler, y former des nuages, s'y tenir en cet état pendant plusieurs jours, pendant même des mois, et finir par couvrir une vaste étendue de pays à plusieurs centaines de lieues tout autour.

Maintenant, si la tension électrique des nuages finit par atteindre son maximum de tension, la direction du vent changera, emportant avec lui au loin des lambeaux de nuages, les dissipant ou les résolvant en pluie. Nous parlerons de ce changement au chapitre des brises, et plus particulièrement encore au chapitre des orages.

Les vents d'aspiration, ainsi que les vents de condensation, peuvent aussi, comme nous l'avons dit, avoir leur naissance dans un point quelconque du ciel, indépendamment des montagnes. Nous ajoutons même que l'atmosphère doit être constamment sillonnée de courants en différentes directions, car les molécules de vapeur et de l'air dans lesquelles elles nagent, se trouvant toujours au milieu de deux actions contraires, seront contraintes de prendre dans le ciel diffé-

rentes directions, selon l'état électrique de la surface terrestre et des différents points de l'atmosphère.

Les ascensions aérostatiques ont, en effet, constaté l'existence de courants dans diverses directions. Souvent le calme le plus absolu paraît régner dans l'atmosphère, à l'époque surtout des grandes chaleurs de l'été. Il est certain qu'alors à la surface de la terre l'air est tranquille, mais il n'en est pas de même de toutes les couches atmosphériques. Il semble que l'air est calme partout, parce que l'absence de nuages ne nous permet pas de constater l'existence d'un mouvement quelconque, mais on peut être sûr que ce mouvement existe plus ou moins prononcé à une certaine élévation.

Dans les jours plus ou moins nuageux, tous les observateurs ont pu s'assurer, par le mouvement des vapeurs, de l'existence de ces courants. En pareils jours, en effet, particulièrement pendant l'hiver, on voit le vent changer rapidement plusieurs fois de direction à quelques heures et parfois à quelques moments d'intervalle. Tous ces courants, qui varient d'une manière si étrange, ne pourront jamais avoir une explication quelconque par la théorie de la chaleur.

La théorie électrique ne pourra pas, il est vrai, dans les cas particuliers, indiquer les endroits du ciel où se passent les changements de tension électrique, ni assigner toutes les causes qui ont pu occasionner ces changements, mais au moins elle explique, croyons-nous, d'une manière assez satisfaisante les étranges variations de mouvement dont nous venons de parler ; car ces variations bizarres sont en harmonie avec les actions non moins bizarres de l'électricité.

---

## CHAPITRE II.

### THÉORIE DE L'ALIZÉ.

Le phénomène de l'alizé n'est pas aussi simple qu'on l'a prétendu jusqu'ici ; c'est, au contraire, un phénomène assez complexe et qui est bien loin de présenter toute la régularité que l'ancienne théorie lui a supposée. Nous avons déjà parlé d'un certain nombre de faits dont on n'avait tenu aucun compte, et qui sont plus ou moins en contradiction avec les principes fondamentaux de la théorie elle-même. Nous reviendrons ici sur ces faits ainsi que sur toutes les autres particularités qui accompagnent ces vents, soit pour faire mieux ressortir l'impuissance de la théorie ancienne à les expliquer, soit pour essayer de nous en rendre compte par la théorie électrique.

Afin de développer nos idées avec plus d'ordre et de clarté, nous partagerons la matière en quatre questions principales, qui sont :

**I. — Nature du mouvement de l'air dans les régions des alizés.**

**II. — Oscillation et amplitude de la zone des calmes.**

**III. — Direction des alizés.**

**IV. — Leur étendue et intensité.**

**I. — Nature du mouvement.** — L'alizé est un vent de raréfaction. Les marins savent que dans toute la région où ce vent souffle, l'air est constamment pur et sans nuages. S'il s'en manifeste, ces nuages suivent généralement un chemin opposé. Ils ne sont donc pas un effet de l'alizé, mais un effet du contre-courant supérieur. Les voiles légers de vapeurs, lorsqu'il s'en forme dans le chemin suivi par l'alizé, se dissipent facilement et vont se condenser plus loin dans la région des calmes. Le mouvement atmosphérique est, par conséquent, analogue à celui de l'air qui marche vers la soupape

d'un soufflet : la cause de son mouvement est au terme de sa course.

Les météorologistes ne nous le contesteront pas, car en supposant, comme ils le font, que l'alizé est l'effet de l'élévation de l'air à l'équateur, ils admettent par là même qu'il est, comme nous venons de le dire, un vent de raréfaction. Nous sommes donc d'accord avec les météorologistes sur deux points, savoir : 1° *Que la cause du mouvement de l'air se trouve dans la région des calmes ; 2° que cet air n'est pas poussé, mais aspiré.*

Nous avons longuement démontré que l'air équatorial ne s'élève pas, et qu'il ne peut s'élever. Nous avons donc le droit de ne pas admettre l'explication qu'on donne de ces vents, qui a pour base cette élévation. Nous affirmons maintenant que l'alizé est produit par l'action électrique de la région des calmes. Cette assertion pourra de prime abord surprendre plus d'un de nos lecteurs, mais nous osons espérer qu'après nous avoir lu ils seront complétement revenus de leur surprise.

Étudions avant tout la nature de la zone des calmes et quelques-uns des phénomènes inséparables qui l'accompagnent. Sur toute l'étendue de cette zone, il existe un rideau ou banc de nuages de plusieurs milliers de mètres d'épaisseur, qui arrivent souvent sous l'apparence de brouillards épais jusqu'à la surface de la mer ; mais d'ordinaire ils se maintiennent élevés à une faible hauteur. Ce fait a été constaté par les marins et les voyageurs qui ont traversé cette région.

Nous savons qu'entre les tropiques l'année se partage en deux seules saisons, la saison sèche et la saison des pluies(1); pendant tout le temps que cette seconde saison dure, les nuages couvrent constamment le ciel. Le soleil arrive rarement à les percer çà et là, et les éclaircies ne durent jamais plusieurs heures de suite. Les milliers de journaux de bord qui ont servi à M. Maury pour la construction de ses cartes prouvent d'une manière irréfragable l'existence du banc de nuages sur toute l'étendue de la zone des calmes. M. Maury affirme même que ces nuages forment un anneau continu enveloppant complétement la terre autour de l'équateur, sur une étendue de plusieurs de-

(1) Il existe aussi quelques endroits qui ont deux saisons sèches et deux saisons de pluies. Santa-Fé, bien que hors des tropiques, est du nombre.



grés de latitude. Tout le chapitre cinquième de ses *Observations nautiques* est consacré à démontrer le bienfait de cet écran de nuages, qu'il compare en quelque manière à l'anneau de Saturne.

Nous sommes bien éloigné d'admettre l'existence de cet anneau continu. M. Maury supposait dans sa théorie que la zone des calmes équatoriaux était continue : voilà pourquoi il avait cru pouvoir affirmer que les nuages aussi formaient une zone non interrompue : deux suppositions auxquelles les faits ne l'autorisaient pas. Le savant hydrographe a d'ailleurs lui-même rectifié dans ses cartes cette assertion. Mais on ne pourrait contester l'existence des nuages dans tous les parages dominés par les calmes.

Pourrait-on maintenant mettre en doute l'existence de l'électricité dans ces nuages ? Pour nous, qui mettons dans la radiation solaire l'origine principale de l'électricité atmosphérique et terrestre, nous sommes convaincu que partout où il y aura des nuages, les rayons solaires y accumuleront des quantités étonnantes d'électricité. Car s'il est vrai que les vapeurs arrêtent les rayons lumineux et calorifiques et que l'absorption est d'autant plus grande que la couche de vapeur est plus épaisse ; s'il est vrai aussi que l'action chimique diminue dans le même rapport, et s'il est vrai, en outre, que la lumière, la chaleur et l'action chimique en disparaissant peuvent se transformer en électricité, il nous paraît évident que la lumière et la chaleur absorbées et l'action chimique disparue dans cet immense banc de nuages doivent constamment le charger d'électricité. Mais comme la généralité des savants ne paraît pas encore disposée à admettre une action électrique quelconque des rayons solaires, nous n'insisterons pas davantage sur cet argument.

Cependant, quelle que soit la cause de l'électricité terrestre et atmosphérique, nul ne niera que les nuages sont tous plus ou moins chargés d'électricité : on sait aujourd'hui ce qu'il faut penser des nuages et des pluies qu'on appelait jadis négatives. Nous avons vu (Ch. IX liv., II) que ces pluies et ces nuages n'existent pas, et que toutes les vapeurs visibles ou invisibles, comme toutes les pluies, sont positives, ou, en d'autres termes, qu'elles contiennent des quantités plus ou moins fortes d'électricité libre. Nous avons vu d'ailleurs que si l'atmosphère est constamment chargée d'électricité,

même avec un ciel parfaitement serein, elle doit l'être d'autant plus que l'air est plus chargé de nuages.

Mais, en dehors de ces arguments que nous croyons cependant assez bons, nous possédons des faits qui prouvent d'une manière plus directe l'existence de l'électricité dans la zone des calmes équatoriaux. Les éclairs et le tounerre sont les signes les plus incontestables de la présence de l'électricité. M. Maury, dans deux de ses cartes (la 3ᵉ et la 21ᵉ de ses *Instructions nautiques)* fait voir, au moins pour la région des calmes de l'Atlantique Nord, que ces deux phénomènes s'y manifestent souvent.

La 21ᵉ indique les pluies, les vents et le tonnerre, seulement pour les routes suivies par les paquebots d'Europe aux Etats-Unis. La 3ᵉ, résultat des travaux successifs des trois lieutenants de la marine américaine Rogés Taylor, W.-H. Ball, et Georges Minor, embrasse tout l'espace compris entre l'équateur et le 15° de latitude Nord, entre les méridiens de 27°20′ et 32°20′ Ouest. Or, ces cartes nous montrent que de l'équateur au 5ᵉ de latitude, les éclairs et le tonnerre sont fréquents depuis décembre jusqu'à la fin du mois de mai : c'est à ces latitudes que correspond, à peu près à cette époque, la zone des calmes. Depuis le mois de juin jusqu'à septembre, cette zone a dépassé le 5ᵉ parallèle : la carte fait voir que ces phénomènes ont lieu à cette saison entre le 5ᵉ et le 10ᵉ parallèle.

Il faut remarquer que les cartes n'indiquent pas le nombre des fois qu'on a vu l'éclair ou entendu le tonnerre, mais seulement le nombre des jours pendant lesquels ces phénomènes ont eu lieu. C'est précisément à cette occasion que M. Maury fait remarquer que « les marins ne font pas toujours mention dans leurs journaux de la pluie, de la brume, du *tonnerre* et des *éclairs ;* ce qui permet de supposer que ces phénomènes sont *plus fréquents* à la mer quo ne l'indiquent les cartes. *(Inst. naut., cartes des vents et des orages*, pag. 189.) » Il est vrai que les espaces que ces cartes embrassent sont assez restreints, par rapport à l'espace occupé successivement par la zone des calmes ; mais nous pensons que l'induction nous autorise à conclure que les mêmes phénomènes doivent exister dans tous les parages où les calmes dominent.

Les marins qui ont décrit cette région affirment d'un commun ac-



cord que l'atmosphère est constamment chargée d'électricité. M. Lartigue, entre autres, dit expressément que, surtout dans les mers ouvertes, les calmes sont interrompus par des coups de vent plus ou moins brusques et l'*atmosphère est souvent chargée d'électricité*. (p. 17.)

La présence de l'électricité se manifeste d'ailleurs par une agitation particulière de la mer. Lorsqu'on passe sous l'ample rideau des nuages équatoriaux, surtout si ces nuages arrivent près de la surface sous l'aspect de brume, les eaux présentent un mouvement étrange qui ne ressemble en rien au mouvement qu'elles ont lorsqu'un vent quelconque les agite. La surface de la mer n'est pas pour ainsi dire agitée : il n'y a pas des vagues proprement dites. L'eau s'élève çà et là perpendiculairement en formo de monticules qui se déplacent légèrement avec des mouvements courts et saccadés sans prendre aucune direction déterminée, et retombent presquo à l'endroit où ils se sont formés. Cette agitation, qui est restée à l'état de problème jusqu'à présent, s'explique facilement par une action électrique des nuages. Nous verrons ailleurs que les trombes font élever souvent les eaux à plusieurs mètres do la surface de la mer jusqu'à être amenées au contact du cône ou cylindre de vapeur qui constitue la trombe. L'élévation dont nous parlons ici est analogue à celle que les trombes déterminent ; or, si le phénomène produit par les trombes est un effet direct de l'électricité, l'élévation analogue de la région des calmes le sera aussi. La différence entre ces deux phénomènes consiste en ce que les trombes sont l'effet d'une tension électrique à son maximum, dans l'endroit où ces météores se forment, tandis que dans l'autre cas, la tension électrique agit presque également partout, sans avoir encore atteint son maximum nulle part.

Parfois aussi la surfaco de la mer dans la région dont nous parlons se conserve parfaitement tranquille, ce qui a lieu surtout lorsque les nuages s'en tiennent un peu éloignés; néanmoins, le voyageur s'aperçoit dans tous les cas de l'existence de l'électricité par les sensations qu'il éprouve.

Aussitôt qu'il est entré sous les nuages, il se trouve atteint d'une lassitude générale, d'une espèce d'oppression et de malaise indéfinissable. Les yeux se ferment involontairement, c'est une force irrésis-

tible qui le jette dans un état de somnolence habituelle, laquelle, malgré tous les efforts qu'il peut faire pour la vaincre, ne se dissipe que lorsque le navire a atteint l'alizé de l'hémisphère opposé.

« Lorsque le navigateur, dit M. Maury, quitte nos ports pour se diriger vers l'hémisphère Sud, il trouve d'abord, en entrant dans les alizés du N-E., un ciel généralement clair ou semé parfois de légers nuages ; puis, à mesure qu'il approche, il voit son thermomètre monter jusqu'à ce que le navire soit entré dans la zone des calmes équatoriaux ; là, l'atmosphère semble lourde, ce n'est plus cet air vivifiant qu'apportait une brise régulière, on éprouve, au contraire, un invincible sentiment de lassitude qui ne vous abandonne que quand vous avez atteint les alizés du S-E. Le navire a passé dans un véritable anneau de nuages. (MAURY, *ibid.*, n° 77.) »

Des missionnaires qui ont habité pendant plusieurs années quelques-unes des petites îles africaines m'ont rapporté que pendant toute la saison des pluies, lorsque le ciel est constamment couvert de nuages, on éprouve des sensations qui paraissent être de la même nature que celles que nous ressentons dans nos climats d'Europe aux plus grandes chaleurs, lorsque l'orage est en voie de se former, bien qu'il ne soit point permis de les comparer quant à l'intensité. Dans ces contrées torrides, pendant plus de six mois, on éprouve une telle lourdeur qu'on croirait avoir la tête chargée d'un énorme poids ; l'esprit se trouve tellement affecté, qu'il est impossible de se livrer à une occupation intellectuelle quelconque tant soit peu sérieuse.

Ces phénomènes ne pourraient être raisonnablement attribués à la grande quantité des vapeurs d'eau que l'atmosphère contient dans ces circonstances, ni à la dilatation de l'air produite par la température élevée de la saison ; car bien que l'humidité diminue *peut-être* la quantité d'oxygène (1) dans le volume d'air qu'on respire, cette diminution d'oxygène, pas plus que l'élévation de la température, ne saurait occasionner des effets si étranges. Tout ce qui pourrait

(1) Nous disons *peut-être*, parce qu'il faudrait avoir prouvé que les vapeurs survenant dans l'atmosphère obligent réellement les molécules de l'air à s'éloigner les unes des autres. Cette preuve n'a pas encore été donnée. Nous avons déjà dit (Liv. I, ch. X) que les vapeurs, par leur propre *tension*, sont incapables d'occasionner le moindre déplacement des molécules atmosphériques.

résulter de ces deux causes, ce serait une simple accélération de la respiration plus ou moins gênante, mais non une lourdeur de tête ni la somnolence.

Ces sensations ont au contraire une explication plausible dans l'action électrique des nuages. Lorsque l'électricité est très-forte dans l'atmosphère, elle réduit nécessairement la tête à l'état négatif. Cet appauvrissement d'électricité dans le cerveau doit nécessairement occasionner un malaise, diminuer l'énergie et mettre l'esprit dans l'impuissance d'activer ses facultés.

Du reste, il n'est pas nécessaire d'insister sur ce dernier argument pour démontrer l'électricité de la zone des nuages équatoriaux : nous croyons que les arguments précédents ont suffisamment prouvé notre thèse.

Il résulte donc de tout ce que nous venons de dire : 1° que l'alizé est un vent de *raréfaction* ou d'*aspiration*, et, par conséquent, analogue à celui qui est produit par l'électricité accumulée sur un conducteur isolé ; 2° que la zone des calmes équatoriaux est formée d'un immense rideau de nuages, lesquels contiennent d'une part de prodigieuses quantités d'électricité, et qui de l'autre ne laissent échapper cette électricité que difficilement ; 3° que l'alizé est toujours dirigé vers cette région. Après cela, aurions-nous avancé une proposition absurde, en disant que l'alizé présente tous les caractères d'un vent électrique ? Cette proposition est-elle forcée, ou ne découle-t-elle pas tout naturellement de ces trois faits que nous venons d'établir ? Mais continuons.

**II. — Oscillation et amplitude de la zone des calmes.** — Les vents alizés des deux hémisphères, comme il a été dit, sont séparés presque partout par la zone des calmes. Cette zone n'est pas stationnaire, mais elle oscille très-sensiblement, s'approchant et s'éloignant de l'équateur, et avec elle oscillent les deux zones des alizés. Ce fait est à la connaissance de ceux-mêmes qui sont légèrement initiés à la science qui nous occupe. Nous ne nous arrêterons donc pas à en démontrer l'existence.

Mais autant le fait est certain, autant la cause en est inconnue. On a bien voulu le mettre sur le compte de la température, parce qu'on a vu que cette oscillation suit la déclinaison du soleil, mais on n'a

pas essayé d'en formuler une démonstration quelconque. Evidemment, la simple action mécanique de la chaleur ne suffit pas pour rendre compte de ces oscillations. Le lecteur n'aura pas oublié toutes les raisons qui militent contre cette action, et surtout il n'aura pas perdu de vue que le milieu de la zone des calmes, non seulement ne coïncide pas avec les lieux où se rencontrent les maxima de température, mais qu'il s'en trouve en plusieurs endroits entièrement en dehors (Voir la carte 1), et qu'en général le thermomètre se maintient plus bas sous la zone des calmes que dans la zone des alizés.

D'un autre côté, les météorologistes et les marins admettent l'influence des terres sur la position des calmes et sur l'inflexion des vents. M. Maury, entre autres, affirme que cette influence est quelque part sensible à plus de mille milles marins : « La terre, dit-il, a une très-grande influence sur la direction des vents de l'Océan, influence que l'on peut quelquefois suivre au large, jusqu'à plus d'un millier de milles marins. Nos cartes le montrent, et nous en avons un exemple remarquable dans ce qui se passe en été et en automne sur l'Atlantique, etc. (*Instr. naut.*, *descr. des cartes*, p. 168). »

On a vu, au chapitre précédent, plusieurs faits prouvant l'action des montagnes sur la direction des vents. Nous jugeons superflu d'apporter en cet endroit d'autres citations, car on sait que dans les anciennes théories on a fait jouer un grand rôle à la température des terres hautes et des déserts, surtout pour expliquer la conversion de l'alizé en mousson. On sait que la différence de direction entre ces deux vents dans plusieurs endroits est de seize quarts, puisque pendant un certain temps il souffle en direction opposée ; ce qui prouve dans les terres une action égale à quatre fois celle qu'il faudrait pour contrebalancer l'effet supposé de la rotation terrestre. Nous aurons d'ailleurs, dans la suite de ce chapitre, occasion de citer plusieurs faits directs des oscillations des calmes et des alizés, ainsi que de l'action des terres qui les produisent.

Or, si cette action des terres n'est pas une action *mécanique* de la chaleur, de quelle nature sera-t-elle ? Si ce phénomène n'est pas un effet direct de la température, quelle pourrait en être la cause ? Connaît-on, en dehors de l'électricité, une autre action, une autre force naturelle capable d'engendrer cette oscillation ? Il n'en existe

aucune. Donc, puisque nous avons d'une part action du soleil et des terres déterminant l'oscillation des alizés, insuffisance de la température à expliquer ce mouvement, et de l'autre les alizés présentant tous les caractères d'un vent électrique, il nous sera permis de tirer cette conclusion, que l'action du soleil sur les terres et des terres sur l'oscillation des alizés est un effet direct de l'électricité, et que, par conséquent, ces vents ont non seulement les caractères et la seule apparence d'un vent électrique, mais qu'ils le sont dans toute la réalité (1).

Venons maintenant aux oscillations des calmes. La zone des calmes, avons-nous dit, suit le mouvement annuel du soleil. Ses variations en latitude n'égalent cependant pas les variations de l'astre en déclinaison. Le mouvement même de cette zone n'est pas continu, comme celui du soleil ; car, une fois qu'elle a atteint le point de son plus grand écart de l'équateur, dans une saison et dans l'autre, elle y reste stationnaire, mais un peu plus longtemps du côté du Nord que du côté du Sud. Elle emploie plus de temps aussi pour passer de son extrême limite Nord à son extrême limite Sud que pour effectuer son trajet en sens contraire, de façon qu'entre le moment de départ du Nord et l'autre moment de départ du Sud, il s'écoule huit mois environ, et quatre mois seulement à peu près entre ce dernier instant et l'instant où elle quitte de nouveau sa limite Nord.

On voit par là d'une manière frappante l'action des terres de l'hémisphère Nord, et en même temps on voit que cette action se comporte sur la zone des calmes comme une force qui lui facilite le mouvement à une époque et qui le lui retarde dans l'autre : voici pourquoi.

(1) M. Maury, convaincu que le système de circulation atmosphérique ne pouvait avoir une explication satisfaisante par la chaleur équatoriale et la rotation terrestre, a dit : « Tout tend à faire penser qu'il y a dans la circulation atmosphérique un agent qui nous est encore inconnu, dont l'existence est pour ainsi dire nécessaire, le rôle indispensable et dont pourtant l'influence n'a jamais été nettement déterminée. Je veux parler du magnétisme terrestre, etc. (*Instr. naut.*, ch. 2, vers la fin.) »

M. Maury avoue donc d'une part que la théorie actuelle est insuffisante, de l'autre il reconnaît l'existence d'un agent caché. Cet agent, d'après lui, est le magnétisme terrestre : il ne se trompe pas, car nous aurons occasion de voir que le magnétisme terrestre est intimement lié aux phénomènes d'électricité terrestre et atmosphérique.

Lorsque le soleil a fait prédominer l'action électrique sur les terres australes, la zone des calmes commence à marcher vers le Sud; mais comme l'électricité n'augmente pas aussi rapidement sur cet hémisphère que sur l'autre, et comme, de plus, la tension électrique des terres australes ne pourra jamais égaler la tension des terres boréales (1), il s'ensuit que lorsque l'électricité commence à prédominer dans le Sud, il existe encore une tension assez forte dans le Nord. La zone des calmes commencera donc, il est vrai, à marcher vers le Sud, mais lentement, parce qu'il existe de l'autre côté une force qui la retient. Cela est si vrai, que cette zone est contrainte de s'arrêter tout entière dans l'hémisphère Nord, qu'elle ne quitte jamais, puisque, comme il a été déjà dit, sa limite extrême au Sud correspond en moyenne au 3e parallèle Nord, à l'exception cependant de la mer des Indes, où le bord austral atteint le 6e parallèle Sud.

Au contraire, lorsque l'action solaire a commencé à augmenter sur l'hémisphère Nord, l'électricité des terres australes commence à faiblir. Autant la diminution se fait rapidement dans ce dernier hémisphère, autant l'augmentation se fait rapidement sur l'hémisphère boréal. Deux causes qui influent nécessairement pour faire marcher la zone des calmes vers le Nord. Voilà aussi pourquoi le temps d'arrêt est plus long à l'extrême limite Nord qu'à l'extrême limite Sud, et voilà aussi pourquoi cette zone ne franchit jamais l'équateur.

Après cela, essayons de suivre de plus près cette zone dans ses oscillations, et voyons pourquoi et comment elle se dilate et se rétrécit. Commençons notre étude à une époque quelconque de l'année, sur un hémisphère d'abord, sur l'autre ensuite, et en dernier lieu sur les deux à la fois.

Supposons le soleil en déclinaison boréale. Lorsque l'astre, en marchant dans cet hémisphère, a franchi l'extrême limite Nord de la zone des calmes, les terres élevées près du côté Nord de cette zone, sous l'influence de l'électricité atmosphérique, se trouveront à l'état négatif; les vapeurs qui se forment sur les surfaces liquides se diri-

(1) La tension électrique des terres australes ne peut égaler la tension des terres boréales, parce que la surface émergée de celles-ci est environ les deux tiers de l'autre.



geront vers ces terres. Les vapeurs ou les nuages qui constituent la zone des calmes prendront la même direction ; c'est donc seulement alors que cette zone commencera à se dilater, et non pas avant.

Consultons les faits : voyons s'il en est réellement ainsi. L'équinoxe du printemps tombe au 20 mars, et le mouvement de la zone vers le Nord ne commence qu'aux premiers jours de mai, c'est-à-dire un mois et demi après que le soleil est entré en déclinaison boréale, et, par conséquent, plusieurs jours après qu'il a franchi l'extrême limite Nord de la zone des calmes. Car les points les plus écartés de cette zone vers le Nord à cette saison ne dépassent pas le 8e parallèle : en moyenne, sa limite Nord se trouve au 4e parallèle environ. La zone marche donc en suivant le soleil.

Ce mouvement ne s'arrête pas lorsque l'astre est arrivé au solstice d'été, mais il continue encore jusqu'à ce qu'il ait atteint de nouveau la limite Nord de la zone. En effet, celle-ci est encore en mouvement vers le Nord deux mois environ après que le soleil est parti du tropique du cancer ; comme on le sait, l'astre quitte ce tropique le 22 juin, et la zone ne s'arrête dans sa marche progressive vers le Nord qu'au milieu d'août.

Elle reste stationnaire ensuite, non seulement pendant que le soleil repasse sur elle, mais longtemps après. En voici la raison : quoique les terres sur lesquelles le soleil darde perpendiculairement ses rayons soient réduites à l'état négatif, cependant, comme la surface des terres est beaucoup moindre que celle de l'hémisphère opposé, la zone des calmes sera retenue sur les terres de l'hémisphère boréal, à cause de l'électricité de ces terres, qui continue à prédominer encore longtemps après que le soleil est entré en déclinaison australe. Une page plus haut, nous avons dit d'ailleurs pourquoi la zone des calmes marche plus rapidement vers le Nord, pourquoi elle s'arrête plus longtemps dans l'hémisphère de ce nom, et pourquoi elle n'entre jamais dans l'hémisphère austral. Il est inutile de revenir sur ces mêmes points.

**III. Direction des alizés.** — Les alizés ont été regardés jusqu'ici comme des vents qui soufflent constamment dans la même direction. C'est l'opinion générale de tous les météorologistes, embrassée aussi, à quelques rares exceptions près, par les marins. Le petit

nombre de faits que la science possédait à l'époque où Hadley en Angleterre et Franklin en Amérique formulèrent la théorie, paraissaient prouver, en effet, que les alizés soufflaient dans une direction constante. Mais un grand nombre d'observations postérieures, faites sur presque toute l'étendue des mers dominées par ces vents, n'autorisent plus à regarder cette opinion comme vraie. Examinons ces faits.

On sait que dans les mers resserrées dans notre hémisphère, au lieu de souffler du N-E., les vents peuvent prendre toutes les directions comprises entre le N-N-E. et le E-S-E., et que dans l'hémisphère Sud, ils peuvent passer du S-S-E. à l'O-S-O. On les appelle justement alors *vents variables*, mais en réalité ils ne diffèrent des alizés que par le nom.

Suivons le cours de l'alizé de notre hémisphère sur le grand Océan. Après le solstice d'hiver, lorsque le soleil se trouve depuis trois mois dans l'hémisphère Sud, ce vent souffle sur toute la vaste superficie comprise entre le tropique du cancer et l'équateur, depuis les méridiens des Philippines jusqu'à la baie du Panama. Leur direction n'est pas toujours partout N-E., mais elle change çà et là en s'approchant plus ou moins de l'E. sur les différents méridiens. Ainsi, par exemple, sur les Philippines, le vent s'infléchit d'autant plus que nous descendons vers l'équateur, et il passe sur ces divers parallèles du N-N-E. jusqu'à E. 1/4 N-E.

Si nous revenons au même examen six mois après, nous trouverons l'alizé régulier seulement à Luçon, conservant sa direction N-E. jusqu'au parallèle de Manille; tandis que sur les autres îles, nous lui verrons prendre tantôt cette direction, tantôt la direction S-E. Depuis le mois de mai au mois de septembre, les vents ont une direction plus ou moins opposée à l'alizé N-E. En juin et juillet, ils soufflent par intervalles; en août et septembre, ils prennent un mouvement plus régulier.

M. Dove, d'après les anciens travaux de Seller et de Dampier, et les autres de d'Après et d'Horsbourg, dit « que plus le vent alizé du S-E. s'avance au N. dans les latitudes Nord, après avoir traversé l'équateur, plus sa direction est modifiée du S-E. par le S. vers le S-O. D'après Dampier, la direction du vent dans l'été entre l'é-

quateur et le 12° serait S-S-E., S-S-O., S-O. Horsbourg dit que l'alizé du S-E. a sa limite Nord à une direction presque Sud, surtout en juillet, août et septembre. Cette assertion est également vraie pour les autres mois. (Dove. *Loi des tempêtes*, page 17.) »

Dans un grand nombre de parages où, d'après les cartes, on devrait trouver l'alizé N-E., on rencontre des vents qui descendent perpendiculairement vers l'équateur. On est si habitué à croire que l'alizé de notre hémisphère doit toujours souffler du N-E., que marins et météorologistes regardent ces vents du N. comme des vents essentiellement différents des vents alizés. Pourtant ils ne diffèrent entr'eux que par la direction, puisque l'alizé alterne avec le vent du N.; et celui-ci avec l'alizé à quelques jours, et parfois à quelques heures seulement d'intervalle, même aux deux époques où la zone des calmes est stationnaire.

Ouvrons les grandes cartes de M. Maury ; nous y verrons presque partout l'alizé varier de direction comme dans toute autre contrée de la terre, bien que cependant ces variations se tiennent entre une certaine limite.

*Atlantique Nord.* — Dans l'Atlantique Nord, entre le 20° et le 30° de latitude, dans presque toute l'étendue de la mer comprise entre les méridiens de 22° à 28° Ouest, ces cartes nous font voir que l'alizé tend à prendre une direction parallèle à l'équateur presque toute l'année.

Cette tendance au parallélisme, nous la trouverons surtout dans les mers libres ; mais elle existe aussi dans des mers resserrées. Jetez les yeux sur la mer des Antilles, vous verrez que le vent vient généralement de l'Est toute l'année.

Entre les méridiens 32° et 42° Ouest et les parallèles de 10° et 20° la direction prédominante est, de même, parallèle à l'équateur d'un bout de l'année à l'autre. Elle s'infléchit seulement un peu et devient E-N-E. aux mois de juillet, août et septembre.

*Atlantique Sud.* — L'alizé a en général, dans cette mer, la direction S-E., nous en verrons plus loin la raison ; mais si nous examinons la 3e grande carte, qui donne la direction des vents sur les côtes du Brésil, nous verrons que depuis environ le 12e parallèle jus-

qu'aux limites extérieures de l'alizé, ce vent, en moyenne, vient de l'E., surtout dans les premiers six mois de l'année. Cette tendance est d'autant plus marquée que nous nous éloignons de la terre et que nous approchons des limites extérieures de l'alizé lui-même.

*Océan Indien*. — Dans cette mer, entre l'équateur et le 10° de latitude et les méridiens 58° et 88° Est (toujours d'après les cartes de M. Maury), les vents y sont très-variables, surtout aux six premiers mois de l'année ; dans les autres six mois, ils le sont moins, mais assez pour ne pas être autorisés à regarder les alizés comme des vents constants et réguliers. Aux mêmes méridiens, entre 10° et 20° de latitude, leur direction moyenne paraît être S-E. ; mais, depuis ce dernier parallèle, elle varie de nouveau à toutes les époques. Entre Java et l'Australie, de mai à août le vent tend à prendre la direction de l'alizé de l'hémisphère boréal.

*Pacifique Nord*. — Bien que dans cet océan l'alizé souffle généralement du N-E. ou du S-E., selon la position de la zone des calmes, souvent il vient aussi directement du N. et de l'E. Cela a lieu surtout aux six derniers mois de l'année entre les premiers 10° parallèles, et d'autant plus qu'on s'éloigne des côtes d'Amérique.

*Pacifique Sud*. — Ici nous aurons recours à l'atlas publié en 1864 par M. Le Helloco, lieutenant de la marine française. Cet atlas a été dressé sur les cartes publiées par l'Institut météorologique d'Utrech, sur les cartes-pilotes de M. Maury et sur le dépouillement des journaux des bâtiments français. Les 26 cartes dont il se compose donnent le vent pour chaque mois de l'année sur tout l'espace compris entre les méridiens 281° Est et 72° Ouest, depuis l'équateur jusqu'au 50ᵉ parallèle. Or, ces cartes nous font voir que dans le Pacifique méridional l'alizé n'a sa direction prédominante S-E. qu'entre un espace triangulaire fort restreint, près les côtes d'Amérique. Cet espace est compris entre l'équateur, le 72ᵉ de longitude Ouest et une ligne qui irait couper ce méridien au 30ᵉ de latitude et l'équateur au 142ᵉ de longitude Ouest. A certains mois, cet espace est encore plus resserré ; en septembre, par exemple, il est réduit à peu près de moitié. Sur tout le reste de ce vaste océan, l'alizé vient en général de

l'Est. En plusieurs endroits il a une tendance prononcée à souffler du Sud, dans d'autres il vient de l'Ouest.

M. Maury lui-même parle d'une anomalie dont il avoue ne pas savoir se rendre compte. C'est justement l'existence d'un vent d'O. pendant l'hiver entre l'alizé N-E. et l'alizé S-E. « On peut constater ce vent, dit-il, presque dans toute l'étendue de l'Océan Pacifique. Les vents y soufflent de l'Ouest dans une zone de 9° à 10° au plus de largeur en latitude, entre 0° et 5° Nord surtout. Dans l'Océan Indien, on trouve aussi des vents d'O. entre 0° et 5° Sud, dans l'Océan Atlantique entre 5° et 10° Nord. (Rapporté par Ch. Ploix, dans sa *Météorologie nautique*, page 74.) »

Au reste, les tableaux que nous allons mettre sous les yeux du lecteur font voir la variabilité de ce vent sur toutes les mers. Ces tableaux ont été dressés par les soins du même M. Maury, d'après les observations qui ont servi à la construction de ses cartes. Ces observations, faites sur toutes les mers du globe, sont au nombre de 1,213,930, et ont été classées par zones de 5 degrés de latitude; elles s'étendent jusqu'au 60e parallèle et donnent, par conséquent, aussi la direction des autres vents de surface. Cette direction est la moyenne observée sur chaque carré de la circonférence. La ligne qui correspond au mot *jours* indique combien de fois le vent a soufflé sur 365 observations. La colonne intitulée *observations* comprend de même le nombre correspondant de jours de calme, ainsi que le nombre total des observations. Ces tableaux sont trop éloquents et nous dispensent de tout commentaire : nous les livrons aux méditations des météorologistes.

## Vents et Calmes de l'Océan Atlantique.

| | HÉMISPHÈRE NORD. | | | | | HÉMISPHÈRE SUD. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | du Nord à l'Est. | de l'Est au Sud. | du Sud à l'Ouest. | de l'Ouest au Nord. | Observations. | du Nord à l'Est. | de l'Est au Sud. | du Sud à l'Ouest. | de l'Ouest au Nord. | Observations. |
| Entre 0° et 5° | N. 52° E. | E. 49° S. | S. 21° O | O. 57° N. | 21,667 | N. 60° E. | E. 37° S. | S. 33° O. | O. 46° N. | 15,463 |
| Jours | 85 | 192 | 49 | 11 | 28 C* | 26 | 314 | 17 | 4 | 4 C* |
| Entre 5° et 10° | N. 53° E. | E. 48° S. | S. 30° O. | O. 45° N. | 22,777 | N. 69° E. | E. 43° S. | S. 31° O. | O. 47° N. | 13,714 |
| Jours | 136 | 91 | 86 | 18 | 34 C. | 24 | 329 | 10 | 2 | 0 C. |
| Entre 10° et 15° | N. 54° E. | E. 25° S. | S. 43° O. | O. 48° N. | 16,950 | N. 63° E. | E. 40° S. | S. 26° O. | O. 57° N. | 14,429 |
| Jours | 241 | 60 | 21 | 19 | 18 C. | 58 | 295 | 8 | 2 | 2 C. |
| Entre 15° et 20° | N. 55° E. | E. 20° S. | S. 38° O. | O. 57° N. | 19,845 | N. 55° E. | E. 38° S. | S. 29° O. | O. 62° N. | 17,814 |
| Jours | 214 | 89 | 10 | 13 | 9 C. | 89 | 244 | 14 | 12 | 6 C. |
| Entre 20° et 25° | N 50° E. | E. 35° S. | S. 39° O. | O. 52° N. | 25,614 | N. 45° E. | E. 43° S. | S. 37° O. | O. 57° N. | 20,762 |
| Jours | 203 | 96 | 25 | 25 | 16 C. | 123 | 157 | 37 | 39 | 9 C. |
| Entre 25° et 30° | N. 49° E. | E. 38° S. | S. 39° O. | O. 47° N. | 36,862 | N. 44° E. | E. 49° S. | S. 38° O. | O. 51° N. | 19,817 |
| Jours | 127 | 99 | 67 | 51 | 21 C. | 109 | 124 | 62 | 62 | 8 C. |
| Entre 30° et 35° | N. 41° E. | E. 48° S. | S. 42° O. | O. 14° N. | 12,897 | N. 39° E. | E. 49° S. | S. 42° O. | O. 47° N. | 15,845 |
| Jours | 86 | 88 | 101 | 73 | 17 C. | 67 | 108 | 91 | 89 | 10 C. |
| Entre 35° et 40° | N. 42° E. | E. 51° S. | S. 15° O. | O. 12° N. | 22,207 | N. 38° E. | E. 48° S. | S. 47° O. | O. 43° N. | 23,581 |
| Jours | 71 | 65 | 126 | 46 | 14 C. | 52 | 55 | 114 | 135 | 9 C. |
| Entre 40° et 45° | N. 43° E. | E. 51° S. | S. 46° O. | O. 40° N. | 16,299 | N. 35° E. | E. 52° S. | S. 48° O. | O. 45° N. | 8,783 |
| Jours | 58 | 68 | 123 | 100 | 16 C. | 53 | 35 | 125 | 112 | 10 C. |
| Entre 45° et 50° | N. 45° E. | E. 49° S. | S. 48° O. | O. 39° N. | 8,191 | N. 27° E. | E. 45° S. | S. 54° O. | O. 46° N. | 4,330 |
| Jours | 52 | 57 | 136 | 107 | 12 C. | 54 | 24 | 123 | 155 | 9 C. |
| Entre 50° et 55° | N. 49° E. | E. 49° S. | S. 48° O. | O. 38° N. | 3,610 | N. 30° E. | E. 51° S. | S. 57° O. | O. 45° N. | 3,732 |
| Jours | 52 | 85 | 128 | 86 | 14 C. | 65 | 19 | 129 | 146 | 6 C. |
| Entre 55° et 60° | N. 35° E. | E. 50° S. | S. 47° O. | O. 41° N. | 392 | N. 36° E. | E 54° S. | S. 59° O. | O. 40° N. | 4,370 |
| Jours | 49 | 51 | 164 | 95 | 6 C. | 48 | 18 | 121 | 167 | 11 C. |

C* Jours de calmes.

## Vents et Calmes de l'Océan Pacifique.

| | Hémisphère Nord. | | | | | Hémisphère Sud. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | du Nord à l'Est. | de l'Est au Sud. | du Sud à l'Ouest. | de l'Ouest au Nord. | Observations. | du Nord à l'Est. | de l'Est au Sud. | du Sud à l'Ouest. | de l'Ouest au Nord. | Observations |
| Entre 0° et 5°.......... | N. 57° E. | E. 46° S. | S. 30° O. | O. 48° N. | 46,162 | N. 59° E. | E. 40° S. | S. 36° O. | O. 51° N. | 43,218 |
| Jours .......... | 19 | 206 | 89 | 12 | 9 C. | 76 | 229 | 27 | 25 | 8 C. |
| Entre 5° et 10°.......... | N. 54° E. | E. 46° S. | S. 33° O. | O. 41° N. | 14,064 | N. 57° E. | E. 30° S. | S. 49° O. | O. 41° N. | 24,916 |
| Jours.......... | 143 | 134 | 54 | 20 | 14 C. | 62 | 243 | 25 | 25 | 10 C. |
| Entre 10° et 15°.......... | N. 51° E. | E. 30° S. | S. 47° O. | O. 50° N. | 10,389 | N. 55° E. | E. 36° S. | S. 45° O. | O. 52° N. | 11,367 |
| Jours.......... | 266 | 43 | 19 | 27 | 10 C. | 96 | 219 | 14 | 25 | 11 C. |
| Entre 15° et 20°.......... | N. 51° E. | E. 27° S. | S. 47° O. | O. 52° N. | 13,258 | N. 58° E. | E. 36° S. | S. 38° O. | O. 49° N. | 11,420 |
| Jours.......... | 213 | 49 | 15 | 45 | 13 C. | 89 | 216 | 18 | 29 | 13 C. |
| Entre 20° et 25°.......... | N. 53° E. | E. 28° S. | S. 45° O. | O. 52° N. | 18,913 | N. 58° E. | E. 38° S. | S. 41° O. | O. 51° N. | 13,668 |
| Jours.......... | 212 | 66 | 25 | 52 | 10 C. | 91 | 195 | 37 | 29 | 13 C. |
| Entre 25° et 30°.......... | N. 53° E. | E. 37° S. | S. 43° O. | O. 48° N. | 31,915 | N. 54° E. | E. 41° S. | S. 39° O. | O. 46° N. | 13,658 |
| Jours.......... | 142 | 99 | 60 | 50 | 14 C. | 80 | 154 | 77 | 41 | 13 C. |
| Entre 30° et 35°.......... | N. 50° E. | E. 42° S. | S. 32° O. | O. 45° N. | 49,617 | N. 48° E. | E. 49° S. | S. 39° O. | O. 43° N. | 34,160 |
| Jours.......... | 96 | 109 | 92 | 56 | 12 C. | 63 | 103 | 112 | 74 | 13 C. |
| Entre 35° et 40°.......... | N. 42° E. | E. 49° S. | S. 42° O. | O. 46° N. | 19,026 | N. 39° E. | E. 51° S. | S. 43° O. | O. 44° N. | 27,314 |
| Jours.......... | 93 | 70 | 96 | 93 | 13 C. | 63 | 54 | 129 | 106 | 13 C. |
| Entre 40° et 45°.......... | N. 47° E. | E. 43° S. | S. 44° O. | O. 41° N. | 16,953 | N. 35° E. | E. 50° S. | S. 48° O. | O. 43° N | 36,263 |
| Jours.......... | 66 | 68 | 113 | 102 | 16 C. | 56 | 35 | 125 | 141 | 8 C. |
| Entre 45° et 50°.......... | N. 43° E. | E. 44° S. | S. 47° O. | O. 40° N. | 20,970 | N. 31° E. | E. 45° S. | S. 53° O. | O. 42° N. | 18,469 |
| Jours.......... | 62 | 74 | 110 | 107 | 12 C. | 49 | 32 | 129 | 147 | 8 C. |
| Entre 50° et 55°.......... | N. 44° E. | E. 47° S. | S. 48° O. | O. 38° N. | 37,960 | N. 36° E. | E. 51° S. | S. 56° O. | O. 37° N. | 10,554 |
| Jours.......... | 56 | 72 | 123 | 101 | 13 C. | 41 | 36 | 118 | 164 | 6 C. |
| Entre 55° et 60°.......... | N. 47° E. | E. 47° S. | S. 47° O. | O. 37° N. | 17,482 | N. 38° E. | E. 47° S. | S. 56° O. | O. 41° N. | 9,247 |
| Jours.......... | 58 | 92 | 119 | 81 | 15 C. | 46 | 30 | 95 | 186 | 8 C. |

## Vents et Calmes de l'Océan Indien.

| | HÉMISPHÈRE NORD. | | | | | HÉMISPHÈRE SUD. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | du Nord à l'Est. | de l'Est au Sud. | du Sud à l'Ouest. | de l'Ouest au Nord. | Observations. | du Nord à l'Est. | de l'Est au Sud. | du Sud à l'Ouest. | de l'Ouest au Nord. | Observations. |
| Entre 0° et 5° | N. 41° E. | E. 49° S. | S. 46° O. | O. 39° N. | 9,369 | N. 46° E. | E. 18° S. | S. 41° O. | O. 49° N. | 11,264 |
| Jours | 82 | 60 | 138 | 67 | 18 C. | 49 | 121 | 96 | 71 | 25 C. |
| Entre 5° et 10° | N. 44° E. | E. 43° S. | S. 50° O. | O. 38° N. | 8 811 | N. 53° E. | E. 42° S. | S. 38° O. | O. 39° N. | 16,018 |
| Jours | 111 | 42 | 140 | 60 | 12 C. | 51 | 178 | 63 | 51 | 19 C. |
| Entre 10° et 15° | N. 46° E. | E. 11° S. | S. 17° O. | O. 15° N. | 7,183 | N. 60° E. | E. 45° S. | S. 41° O. | O. 10° N. | 18,028 |
| Jours | 127 | 52 | 123 | 51 | 12 C. | 37 | 211 | 47 | 27 | 13 C |
| Entre 15° et 20° | N. 42° E. | E. 43° S. | S. 16° O. | O. 46° N. | 6,800 | N. 67° E. | E. 40° S. | S. 31° O. | O. 44° N. | 17,310 |
| Jours | 116 | 36 | 115 | 57 | 11 C. | 43 | 272 | 31 | 10 | 6 C. |
| Entre 20° et 25° | N. 41° E. | E. 18° S. | S. 13° O. | O. 50° N. | 1,871 | N. 62° E. | E. 41° S. | S. 29° O. | O. 48° N. | 31,965 |
| Jours | 84 | 54 | 148 | 66 | 13 C. | 83 | 215 | 40 | 18 | 9 C. |
| Entre 25° et 30° | » | » | » | » | » | N. 51° E. | E. 42° S. | S. 36° O. | O. 50° N. | 33,160 |
| Jours | » | » | » | » | » | 108 | 146 | 62 | 39 | 10 C. |
| Entre 30° et 35° | » | » | » | » | » | N. 45° E. | E. 47° S. | S. 44° O. | O. 12° N. | 26,219 |
| Jours | » | » | » | » | » | 75 | 84 | 113 | 83 | 10 C |
| Entre 35° et 40° | » | » | » | » | » | N. 39° E. | E. 46° S. | S. 41° O. | O. 39° N. | 56,336 |
| Jours | » | » | » | » | » | 49 | 52 | 128 | 129 | 7 C. |
| Entre 40° et 45° | » | » | » | » | » | N. 32° E. | E. 51° S. | S. 54° O. | O. 42° N. | 18,623 |
| Jours | » | » | » | » | » | 47 | 20 | 126 | 167 | 5 C. |
| Entre 45° et 50° | » | » | » | » | » | N. 38° E. | E. 41° S. | S. 51° O. | O. 39° N. | 6,333 |
| Jours | » | » | » | » | » | 62 | 39 | 97 | 161 | 6 C. |

## Vents et Calmes des mers des Antilles et de la Chine.

| | MER DE CHINE. | | | | | MER DES ANTILLES. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | du Nord à l'Est. | de l'Est au Sud. | du Sud à l'Ouest. | de l'Ouest au Nord. | Observations. | du Nord à l'Est. | de l'Est au Sud. | du Sud à l'Ouest. | de l'Ouest au Nord. | Observations. |
| Entre 0° et 5° ............. | N. 38° E. | E. 53° S. | S. 34° S. | O. 14° N. | 3,834 | » | » | » | » | » |
| Jours..................... | 106 | 85 | 113 | 48 | 13 C. | » | » | » | » | » |
| Entre 5° et 10°............. | N. 13° E. | E. 48° S. | S. 12° O. | O. 39° N. | 4,672 | » | » | » | » | » |
| Jours..................... | 125 | 54 | 131 | 45 | 7 C. | » | » | » | » | » |
| Entre 10° et 15°........... | N. 46° E. | E. 45° S. | S. 51° O. | O. 41° N. | 5,358 | N. 60° E. | E. 20° S. | S. 42° O. | O. 42° N. | 519 |
| Jours..................... | 135 | 68 | 116 | 42 | 4 C. | 260 | 82 | 6 | 5 | 12 C. |
| Entre 15° et 20°........... | N. 47° E. | E. 43° S. | S. 32° O. | O. 57° N. | 4,298 | N. 61° E. | E. 20° S. | S. 38° O. | O. 58° N. | 2,686 |
| Jours..................... | 175 | 84 | 73 | 29 | 4 C. | 209 | 120 | 10 | 12 | 14 C. |
| Entre 20° et 25°........... | N. 47° E. | E. 43° S. | S. 39° O. | O. 58° N. | 2,564 | N. 54° E. | E. 29° S. | S. 42° O. | O. 73° N. | 5,418 |
| Jours..................... | 199 | 80 | 56 | 26 | 4 C. | 191 | 103 | 19 | 30 | 22 C. |
| Entre 25° et 30°........... | N. 28° E. | E. 46° S. | S. 34° O. | O. 54° N. | 318 | N. 49° E. | E. 40° S. | S. 37° O. | O. 40° N. | 9,317 |
| Jours..................... | 189 | 43 | 72 | 60 | 1 C. | 128 | 106 | 53 | 58 | 20 C. |

Après tout ce que nous venons de dire, on sera étonné d'entendre M. Maury affirmer que « tout autour de notre globe, depuis les parallèles de 30° Nord et Sud ou environ jusque près de l'équateur, se trouvent deux zones de vents *constants et invariables*, savoir : dans notre hémisphère les alizés du N-E., dans l'autre ceux du S-E. La direction de ces vents *ne change pas plus que celle du courant du Mississipi. (Instr. naut.*, p. 13.) »

Il ne faut pas cependant s'en étonner, car M. Maury, ainsi que tous ceux qui dans leurs ouvrages ont parlé des variations de l'alizé, les ont regardées comme des anomalies incapables de faire opposition à la prétendue direction générale N-E. ou S-E., pourtant on vient de voir que l'exception égale presque la règle.

Qu'on n'oublie pas surtout que même dans les parages où l'une ou l'autre de ces directions domine, on observe aussi de fréquentes variations dans presque tous les sens. Or, jusqu'à présent on n'a pas même essayé de se rendre compte de ces variations, on n'a pas dit non plus pourquoi le vent dans les mers libres vient plus généralement de l'Ouest. Cependant, pour qu'une théorie mérite ce nom, elle doit satisfaire à toutes les exigences des phénomènes, surtout des phénomènes de quelque importance. Une théorie devient d'autant plus vraisemblable qu'elle rend plus facilement compte, même des faits les moins importants.

Cette variabilité de l'alizé n'est pas un phénomène de peu d'importance, c'est un fait grave ; la théorie de la chaleur ne pourra jamais en donner une explication quelconque. On a bien tenté de rendre raison de la direction différente de quelques parages par une action calorifique des terres environnantes, mais on n'a même pas essayé de nous dire pourquoi le vent change dans un même endroit d'un jour à l'autre et dans le même jour parfois. Quelle est la force qui vient contrarier la double action prétendue de la température et de la rotation de la terre? On ne pourra en indiquer aucune. Comment se fait-il qu'au changement de direction du vent succède aussi le calme, et après le calme survient de nouveau le vent, et tout cela même au large, loin des terres, où leur influence ne peut être invoquée. Voilà encore un autre fait grave que l'ancienne théorie laisse dans l'obscurité.

Dans notre théorie, ces faits s'expliquent pour ainsi dire d'eux-

mêmes. Quant au premier, *variabilité du vent*, nous disons que cette variabilité est due à la différence de tension électrique des nuages de la zone des calmes. L'air des régions des alizés est, comme on l'a vu, rappelé par l'action électrique de cette zone. Or, il est incontestable que la tension électrique ne pouvant être toujours égale sur toute son étendue, l'air ne pourra non plus y être rappelé dans une direction constante. La tension pouvant à tout moment varier sur un point ou sur un autre de la zone de nuages, la résultante des actions de tous ses divers points changera aussi, et la direction du vent avec elle.

La figure suivante (Fig. 9.) rend la chose plus facile à saisir.

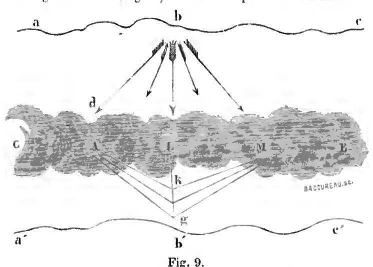



Fig. 9.

Soit C, A, L, M, E, la zone des calmes, et les espaces compris entre cette zone et les lignes a b c, a' b' c' les limites des régions des alizés. Il nous paraît évident que la direction que prendra l'air d'un point quelconque de cette région dépend de la différente tension électrique des divers points de la zone des calmes elle-même. Supposons que sur le bord Nord la tension électrique prédomine, par exemple en A, l'air du point b prendra la direction b d ou à peu près, tandis que si la tension vient à prédominer sur un point compris entre A et M, le vent se redressera plus ou moins, selon que ce point se trou-

vera plus ou moins rapproché de M et que l'excès de tension y sera plus grand, en sorte que tandis que dans le premier cas le vent était N-E., dans l'autre il pourra être N-N-E., N. ou même N-O.

Si l'on se souvient maintenant que les nuages ne sont jamais immobiles, pas même à l'époque où toute la zone est stationnaire, on comprendra aisément aussi le second fait, c'est-à-dire l'alternation du vent et du calme dans une même région à peu de temps d'intervalle. On sait que la zone des calmes est très-irrégulière, soit quant à sa position, soit quant à l'étendue en largeur; et il doit en être ainsi, vu la mobilité de l'élément dont elle se compose. Il peut donc arriver, et il arrivera en effet, que d'un jour à l'autre, d'un moment à l'autre, le bord du nuage se dilate sur un point et se rétrécit sur un autre, abandonnant ici et envahissant là pour un temps plus ou moins long, et sur une étendue plus ou moins grande, la région des alizés. Un navire pourra donc trouver le calme là où hier un autre a rencontré le vent.

Qu'on ne pense pas cependant que nous mettons en principe la nécessité de l'existence des nuages sur tous les lieux dominés par les calmes; car, d'après notre manière de voir, la zone des calmes doit nécessairement être plus étendue que la bande des nuages. L'action électrique de cette bande, en effet, ne cesse pas brusquement sur ses bords, car on ne peut raisonnablement supposer que l'amas de vapeurs se termine où finit le nuage visible. Tous les physiciens savent qu'il existe dans l'air des amas de vapeurs invisibles, c'est-à-dire de vapeurs qui, à la température qu'elles ont rencontrée dans l'atmosphère, ne sont pas encore en quantité suffisante pour troubler la transparence de l'air. Bien que dans cet état, ces vapeurs n'en sont pas moins de vrais nuages qui arrêtent plus ou moins comme les autres la lumière et la chaleur du soleil, affaiblissent son action chimique et se chargent aussi d'électricité comme les autres.

Tout nuage visible doit être environné d'un nuage invisible plus ou moins étendu, puisque, comme nous venons de le dire, on ne peut présumer que l'air près du nuage visible soit aussi pur qu'il l'est à une certaine distance. Nous croyons inutile de nous arrêter davantage sur ce point, qui ne peut être raisonnablement contesté.

Pour expliquer donc le calme qui peut, d'un moment à l'autre, se



déclarer sur un point quelconque d'un parallèle, il suffit d'admettre que le bord du nuage visible s'en est rapproché, sans qu'il soit nécessaire de supposer qu'il le couvre. Voilà comment, dans notre théorie, nous pouvons, sans peine pour nous et sans torturer l'esprit de nos lecteurs, nous rendre compte tout à la fois des changements de direction du vent, de son alternation avec le calme et de l'existence de celui-ci avec un ciel en apparence sans nuages.

**IV. Étendue et Intensité.** — Nous savons que la zone des alizés de l'hémisphère austral est beaucoup plus ample que la zone de l'autre hémisphère, puisque celle-là s'avance en moyenne jusqu'au 9e parallèle, tandis que l'alizé de notre hémisphère ne parvient pas même à dépasser l'équateur ; la zone de ce vent s'arrête en moyenne au 3e de latitude Nord.

Voici comment s'exprime M. Maury : « Un résultat remarquable de nos recherches a été d'établir la supériorité de force de l'alizé S-E. sur ceux du N-E. (il parle de l'Atlantique), supériorité telle que les premiers refoulent parfois les seconds assez loin pour pénétrer dans leur hémisphère jusqu'au 9e degré Nord, tandis qu'au contraire les alizés du N-E. ne dépassent jamais le 3e degré Sud. Ce double fait ressort de plusieurs milliers de journaux. La même différence de force s'observe dans le Pacifique. *(Instr. naut.*, p. 167.) »

Mais ce qui est pour nous plus remarquable encore, c'est que cette supériorité a lieu lorsque le soleil ne se trouve plus dans l'hémisphère Sud ; le maximum d'amplitude de cette zone et le maximum d'intensité du vent correspondent précisément aux mois de juillet, août et septembre, c'est-à-dire à une époque où le soleil se trouve depuis quatre, cinq et six mois dans l'hémisphère opposé. C'est à ces époques que l'alizé S-E. se trouve avoir franchi l'hémisphère Nord ; il arrive alors jusque sur le parallèle de la Guyane hollandaise. M. Lartigue dit même que de juillet à octobre l'alizé S-E. souffle, non seulement sur les côtes de la Guyane, mais qu'il arrive parfois jusqu'au parallèle des Antilles. (Lartigue, p. 16.)

C'est vers le mois d'octobre que la zone de l'alizé S-E. commence à reculer, c'est-à-dire un mois environ après que le soleil est entré dans l'hémisphère Sud. Cela prouve que l'action qui détermine

l'amplitude et la force du vent réside *toujours* dans l'hémisphère opposé.

Cela est vrai aussi pour l'hémisphère Nord. L'alizé de cet hémisphère est plus régulier pendant que le soleil est depuis plusieurs mois en déclinaison australe. Ce fait est bien connu des marins. « C'est pendant l'hiver de l'hémisphère Nord, dit M. Ploix, que les alizés du N-E. ont le plus d'étendue en latitude et acquièrent leur plus grande vitesse. C'est de même pendant l'hiver de l'hémisphère Sud que l'alizé S-E. donne aux navires les plus belles marches. (Ploix, *Météorol. naut.*, p. 69.) »

S'il n'était pas prouvé que les mouvements de l'atmosphère ne sont pas des effets immédiats des températures, le double fait, savoir, la supériorité de l'alizé S-E. sur l'alizé N-E., et plus de régularité des deux vents pendant l'hiver correspondant, pourrait peut-être avoir son explication dans la plus grande différence de température entre la région des calmes et la région de l'alizé à ces époques.

Cependant, même dans ce cas, l'explication soulèverait encore des objections de quelque gravité. Ainsi, on pourrait dire, ce nous semble, que l'alizé de chaque hémisphère devrait souffler avec d'autant plus de force que le bord correspondant de la bande des calmes est plus chaud, car c'est alors que cet air, étant plus raréfié, devrait s'élever avec plus de force et déterminer par conséquent un vent de surface d'une plus grande intensité. Or, le bord Sud de la bande des calmes est nécessairement plus chaud lorsque le soleil est dans cet hémisphère que lorsqu'il est depuis six mois dans l'autre.

Il est bien vrai que le plus ou moins de force d'élévation de l'air à l'équateur et le plus ou moins de vitesse du courant de surface ne doit pas être regardé comme le résultat du simple échauffement de la région des calmes, mais comme l'effet tout à la fois de cet échauffement et de la différence de température entre la région de l'alizé et le bord correspondant de la zone des calmes. Mais on ne peut pas faire appel ici aux différences de température, car lorsque la zone des calmes commence à revenir vers le Sud, le soleil, comme nous venons de le dire, se trouve déjà depuis un mois en déclinaison australe. Or, à cette époque le bord Sud de cette zone sur l'océan Atlantique près des côtes de l'Amérique, d'après les cartes de M. Lartigue,

se trouve pendant 7 à 8 degrés en longitude sur le 6e parallèle Nord à peu près, et, d'après les cartes de M. Maury, il correspond au 10e parallèle environ ; par conséquent, l'alizé règne sur une plage échauffée perpendiculairement par le soleil depuis plus de deux mois. Pour expliquer la plus grande vitesse et la plus grande amplitude de l'alizé dans cette région, on ne peut donc pas recourir aux différences des températures entre l'air de la zone des calmes et de l'alizé, parce que cette dernière région à aucune autre époque de l'année n'est plus échauffée que maintenant, car les plus fortes chaleurs aux environs de l'équateur correspondent au mois qui précède et qui suit les équinoxes. Si je regarde la carte des températures (Carte I.), je trouve que l'isotherme maximum passe près les côtes d'Amérique à cette saison, non sur la zone des calmes, mais sur celle de l'alizé.

Nous avions fait déjà un raisonnement analogue au chapitre 7 du premier livre ; il est inutile d'insister davantage sur cette question des températures, déjà assez discutée dans plusieurs chapitres.

Voyons maintenant comment la théorie électrique rend compte de deux faits qui nous occupent. La région des nuages, étant chargée d'électricité, exerce d'un côté et d'autre son action ; il en résulte un rappel d'air vers ses bords. Si la terre était homogène, ou, du moins, si la partie découverte en chaque hémisphère était égale et à peu près symétriquement disposée par rapport à l'équateur, et si le soleil se tenait toujours perpendiculaire sur l'équateur lui-même, les deux alizés conserveraient toute l'année la même amplitude et la même intensité ; car, dans ce cas, la tension électrique des terres australes égalerait toujours celle des terres boréales. Cette action des terres d'un côté et d'autre de l'équateur se comporterait comme une composante qui modifierait toujours de la même manière l'action électrique des deux bords de la zone des nuages équatoriaux. Cette zone n'oscillerait plus, et les alizés conserveraient la même amplitude et la même vitesse d'un bout à l'autre de l'année. Mais comme le soleil passe d'un hémisphère à l'autre, l'électricité des terres varie nécessairement avec la déclinaison de cet astre, il s'ensuit que l'intensité des deux composantes variera aussi, et avec elle l'intensité des deux alizés.

Supposons que le soleil se trouve à présent dans l'hémisphère

Nord, la quantité d'électricité libre sur cet hémisphère ira en augmentant, le contraire se passera sur l'hémisphère opposé, et cela pendant tout le temps que le soleil continue à rester en déclinaison boréale. Qu'arrivera-t-il? L'air compris entre la zone des nuages équatoriaux et les terres situées au-delà de la région de l'alizé se trouvera sous l'influence d'une double action, d'une double *attraction*, dirions-nous volontiers s'il nous était permis d'employer cette expression ; la quantité de mouvement de cet air sera l'effet de la résultante de ces deux forces plus ou moins contraires.

Il en est autrement à cette même époque pour l'hémisphère opposé. Là le rappel de l'air vers le bord Sud de la zone des calmes aura lieu uniquement par l'action de l'électricité de cette zone, parce que l'électricité libre des terres australes se trouve maintenant diminuée, et d'autant plus, que l'astre du jour en est plus éloigné. Dans tous les cas, l'action électrique des terres australes d'au-delà de la région de l'alizé S-E. sera de beaucoup plus faible que l'action des terres situées aux mêmes latitudes dans l'autre hémisphère. Les choses se passent en sens inverse lorsque le soleil se trouve en déclinaison australe. Voilà pourquoi la vitesse de l'alizé de chaque hémisphère est plus grande pendant l'hiver de ce même hémisphère.

Si l'on réfléchit maintenant que la quantité de terres découvertes dans notre hémisphère égale, à peu de chose près, la quantité submergée dans l'autre, et que, par conséquent, la tension électrique pendant l'été de chaque hémisphère doit être de beaucoup plus forte dans l'hémisphère Nord que dans l'autre, on comprendra aisément pourquoi l'alizé S-E. a une plus grande amplitude.

En effet, lorsque le soleil entre en déclinaison australe, l'électricité de cet hémisphère augmente d'autant plus que le soleil décline plus vers le Sud ; mais comme cet accroissement est plus faible que celui de l'hémisphère Nord pour un même degré de déclinaison boréale, il s'ensuit que, lorsque le soleil est en déclinaison australe, la zone de l'alizé N-E. augmentera en amplitude, mais son maximum ne pourra point égaler le maximum d'amplitude de l'alizé S-E. à l'époque où le soleil est en déclinaison boréale.

Nous avons encore à rendre compte d'un autre fait; c'est que le maximum d'intensité de l'alizé n'est pas près du bord de la zone des



calmes. La science ne connaît pas encore, il est vrai, et elle ne connaîtra peut-être jamais la vraie force de l'alizé aux différents parages ; les journaux de bord ne l'indiquent pas, car il est impossible à un navire d'apprécier la vraie vitesse du vent, à moins qu'il ne marche vent arrière. On a pu donc seulement apprécier, tant bien que mal, la vitesse relative. M. Maury a fait des recherches pour déterminer cette vitesse moyenne dans les différents Océans à l'aide des vitesses des navires. Mais comme la vitesse ne dépend pas seulement de la force du vent, mais du volume du vaisseau, de l'ampleur de la voilure, et surtout de l'angle que tient le vaisseau avec le vent pour faire sa route, et comme il n'est pas possible de tenir compte de tout cela dans la coordination des observations, il est evident que les appréciations des vitesses, même moyennes, seront bien loin d'être précises.

M. de Britto Capello, lieutenant de la marine portugaise et chargé du service météorologique maritime à Lisbonne, ajoutant aux faits coordonnés par M. Maury ceux qu'il a pu recueillir luimême dans les journaux de bord des navires portugais, a dressé deux cartes qui donnent la force moyenne de l'alizé dans l'Océan Atlantique pour les deux saisons extrêmes de l'année, février et mars, août et septembre. Nous prenons ces cartes de la Météorologie nautique de M. Ploix.

Les chiffres qu'on trouve sur ces cartes indiquent la vitesse qu'aurait un bâtiment de force moyenne sous l'allure du largue, c'est-à-dire de neuf à dix quarts. Il a donc fallu ramener à cette allure les marches effectives. Pour cela, M. de Britto a supposé que la marche d'un navire, au plus près du vent, est 0,7 de la marche quo le navire ferait dans les mêmes circonstances sous l'allure du largue ; que la marche avec vent arrière ou avec le vent de sept quarts en est une fraction égale à 0,8, et avec le vent de douze à quatorze quarts, une fraction représentée par 0,9.

Malgré toutes ces imperfections, qu'il était impossible d'éviter, nous croyons pouvoir nous fier à ces cartes, sinon quant à la valeur des chiffres, du moins quant aux rapports des vitesses.

Eh bien ! ses cartes (Carte II) nous font voir que sur l'Océan Atlantique, dans les deux alizés et aux deux saisons, le maximum de

vitesse se trouve dans une région moyenne des zones des alizés eux-mêmes; selon qu'on s'approche davantage de la zone des calmes, la vitesse diminue. Ce fait est d'ailleurs bien connu; nous en avons déjà parlé au Ve chapitre du Ier livre. Nous avons fait remarquer alors qu'il est contraire à l'ancienne théorie; car, répétons-le encore, la cause principale prétendue du vent de surface étant l'élévation de l'air équatorial, c'est là que le vent devrait avoir sa plus grande force; cela est si vrai, qn'on a prétendu que les choses devaient se passer ainsi jusqu'au moment oú on a eu la preuve du contraire.

Pour comprendre le fait dont nous parlons, c'est-à-dire pourquoi le maximnm de force de l'alizé se trouve à quelque distance de la zone des calmes, le lecteur n'a qu'à se mettre devant les yeux la figure 9. Les lignes a b c, a' b' c' représentant la limite des actions électriques et la limite extrême des alizés; c'est là que le vent aura son minimum d'intensité. Elle doit aller ensuite en augmentant plus ou moins, selon le plus ou moins de tension électrique des divers points de la zone, non pas indéfiniment, mais seulement jusqu'à une certaine limite, oú elle doit commencer à diminuer. Fixons-nons sur un volume d'air en un point quelconque de la région des alizés, en g, par exemple, et divisons en deux la zone des calmes par une ligne L g. Supposons que la résultante des actions électriques de tous les points de la droite soit représentée par g M, et la résultante des actions de la gauche par g A; la masse d'air sollicitée à la fois par ces deux forces marchera dans une direction intermédiaire avec une certaine vitesse. Cette vitesse sera nécessairement moindre pour un autre point k plus rapproché de la zone des calmes, car à mesure que le volume d'air s'avance vers elle, les deux forces devenant moins obliques l'une à l'autre, l'intensité de leur résultante diminue. Le mouvement donc de cet air se ralentira toujours, comme on le voit pour l'air situé en k où les forces A k et M k sont en direction beaucoup moins oblique; le mouvement cessera entièrement lorsque les deux forces se trouveront dirigées en sens diamétralement opposé. Voilà donc pourquoi, d'après notre théorie, l'alizé de chaque hémisphère commence d'abord par être faible, augmente ensuite jusqu'à une certaine distance de la zone, et faiblit de nouveau à mesure qu'il s'en approche davantage.

## CHAPITRE III.

### THÉORIE DES MOUSSONS.

Nous avons dit que les deux causes qui font plus ou moins infléchir sur l'équateur les alizés des deux hémisphères, sont l'électricité du banc des nuages et l'électricité des terres. On a vu que les alizés n'ont pas toujours la direction qu'on leur a généralement attribuée : *Les moussons ne sont autre chose que les alizés eux-mêmes, qui varient de direction d'une manière plus marquée sous cette même double action des terres et de la zone de nuages de la région des calmes.* Nous le verrons par l'analyse des faits.

Les zones des alizés et celle des calmes dont les alizés dépendent restent sensiblement stationnaires dans deux époques de l'année, qui sont chacune de quatre mois environ, bien qu'elles ne soient pas égales. Les moussons règnent sur les côtes, mais elles ne sont régulières que pendant trois ou quatre mois ; pendant les deux ou trois mois qui les précèdent et qui les suivent, elles varient beaucoup. Ce n'est qu'au bout de six mois qu'elles ont une direction fixe plus ou moins contraire à la direction de l'alizé. Il est donc vrai que l'inversion complète des moussons arrive de six en six mois, quoiqu'il existe beaucoup d'exceptions, mais il n'est pas exact d'affirmer, comme l'enseignent les cours de physique et de météorologie, qu'elles soufflent pendant six mois dans la même direction.

C'est dans l'hémisphère boréal que les moussons présentent plus de régularité ; c'est là que nous les étudierons plus particulièrement, parce que nous pourrons mieux constater les causes de leur origine. Nous y trouverons, sans doute, des anomalies, mais beaucoup moins que dans l'hémisphère opposé ; cependant ces anomalies mêmes nous prouveront la réalité de la proposition que nous avons énoncée.

Passons en revue les faits et voyons s'ils sont d'accord avec notre manière de voir.

Sur tout l'hémisphère Nord, aux mois de janvier, février et mars, les moussons ont la direction de l'alizé et conservent partout cette dénomination, à l'exception du golfe de Bengale et de la mer de Chine, où on leur donne le nom de moussons N-E. C'est à l'approche de l'équinoxe du printemps que leur direction commence à changer en passant du N-E. au S. et se repliant ensuite peu à peu, jusqu'à prendre la direction S-O. qu'elles n'atteignent que vers le solstice d'été. Elles soufflent alors dans cette dernière direction pendant les mois de juillet, août et septembre. Depuis l'équinoxe d'automne, c'est-à-dire depuis la fin de ce dernier mois, l'inversion recommence lentement et le vent finit de nouveau par reprendre la direction de l'alizé.

Indiquons d'abord comment et pourquoi se fait ce changement général; nous entrerons plus loin dans les détails. Au commencement de janvier, le soleil se trouve depuis trois mois dans l'hémisphère austral. L'intensité d'action de cet astre est allée en augmentant dans cet hémisphère, en diminuant dans l'autre. La quantité d'électricité libre de l'hémisphère austral a dû augmenter à mesure que l'action du soleil s'est prolongée, tandis que dans notre hémisphère, la quantité d'électricité a diminué à mesure que l'astre s'en est éloigné. La zone des calmes et les nuages dont elle est formée s'est approchée de l'équateur, de façon que sa limite Sud en est moins éloignée qu'à toute autre époque. L'électricité de la bande des calmes et des terres australes agit, par conséquent, dans un même sens sur l'air de l'hémisphère Nord; le mouvement de cet air sera, par conséquent, aussi celui de l'alizé, par les raisons indiquées au chapitre précédent. Cela aura lieu tant que la zone des calmes se conserve stationnaire, c'est-à-dire à peu près jusqu'à la fin du mois de mars.

Il ne peut en être de même quand cette zone se sera déplacée et sera rentrée bien avant dans l'hémisphère Nord. Lorsque le soleil a rejoint le tropique du cancer et qu'il se trouve, par conséquent, depuis trois mois en déclinaison boréale, l'alizé de ce même hémisphère ne pourra plus conserver la direction moyenne qu'il avait six

mois auparavant ; sa direction moyenne maintenant sera, près des côtes, plus ou moins opposée. Tout l'hémisphère boréal, en effet, étant beaucoup plus électrisé que l'hémisphère austral, et en outre la zone des calmes ayant sa limite Nord au 9e parallèle et sa limite Sud au 3e environ, plusieurs parages qui, six mois auparavant, avaient cette zone au Sud, l'ont maintenant au Nord ; il s'ensuit que le mouvement de l'air sur ces parages à ces deux époques aura lieu en direction contraire.

On a vu que l'alizé N-E. a beaucoup moins d'intensité que l'alizé S-E., et de plus que l'intensité maximum de ce dernier correspond à l'hiver de l'hémisphère Sud; c'est à cette même époque que la mousson S-O. a aussi son maximum d'intensité. Cette mousson n'est donc autre chose que l'alizé S-E., replié un peu plus vers l'Ouest à cause du voisinage des terres.

On se souvient que la direction des alizés n'est pas constante et qu'elle peut varier d'un jour à l'autre et dans le même jour de plusieurs quarts ; il n'est donc pas étonnant que nous trouvions l'alizé S-E. plus O. qu'E. Cette mousson S-O. n'est donc pas l'alizé N-E. qui a changé de direction, mais l'alizé S-E. replié plus ou moins par l'action des terres.

La mousson S-O., aux mois de juillet, août et septembre, règne sur les côtes occidentales d'Amérique jusqu'au 120e méridien de longitude occidentale, entre l'équateur et le 4e parallèle Nord ; parfois elle s'étend plus loin. M. Lartigue dit que ce vent se maintient entre le 2e et 4e parallèle seulement ; mais les cartes de M. Maury font voir que la mousson coupe l'équateur et qu'elle s'étend presqu'autant dans l'hémisphère Sud.

La mousson existe aussi sur les côtes occidentales d'Afrique jusqu'au 30e de longitude Ouest, entre le 3e et le 12e parallèle, souvent elle arrive jusqu'au 15e parallèle Nord et plus loin même, près des côtes du continent Africain. Cela résulte des cartes de M. Maury et de M. de Britto-Capello. D'après M. Lartigue, ces vents arriveraient en longitude jusqu'à 50 ou 60 lieues au-delà des côtes de la Guyane.

Si l'on consulte maintenant les cartes des régions des calmes de M. Maury et de M. Lartigue, on verra que tous ces lieux, à l'épo-

que indiquée, surtout ceux qui sont situés sur l'hémisphère Sud, ont la bande des calmes au Nord; par conséquent l'action électrique des terres n'étant pas contrariée par celle de la zone des nuages, ces deux forces se combinent pour rappeler l'air dans un même sens, c'est-à-dire plus ou moins en direction des terres. La mousson se maintient en effet entre le S. et l'O., devenant d'autant moins inclinée à l'équateur que les côtes sont, elles aussi, moins inclinées sur l'équateur lui-même.

Cette mousson se trouve encore dans l'espace de mer compris entre les côtes occidentales de l'Indoustan et les côtes orientales de l'Afrique, à partir de l'équateur jusqu'au parallèle de la partie méridionale d'Arabie. On la retrouve dans le golfe de Bengale et dans la mer de la Chine, sur toute l'amplitude de la mer comprise entre les Philippines et les côtes d'Afrique, savoir, du 40e au 120e méridien Est, entre l'équateur et le 25e parallèle. Elle s'étend parfois aussi jusqu'aux côtes du Japon et de la Corée; on la rencontre aussi entre Bornéo, Célèbes et Mindanao, et une dizaine de degrés plus loin en longitude orientale, entre l'extrême pointe méridionale de Mindanao et les parallèles du cap septentrional de Célèbes. Or, pour tous ces parages aussi, la bande des nuages des calmes ajoute plus ou moins son action à l'action des terres pour produire un effet semblable à celui dont nous venons de parler, c'est-à-dire le rappel de l'air vers les terres. Cependant il faut faire remarquer que comme tous ces lieux sont ou rapprochés entre eux ou situés à peu de distance d'autres terres, la mousson y sera moins régulière que dans les deux autres parages précédemment indiqués.

Entre l'équateur et le golfe d'Oman, l'irrégularité est moindre parce que l'action solaire prédomine sur l'Indoustan; cette contrée, à l'époque dont nous parlons, est plus échauffée que les côtes d'Afrique. L'irrégularité doit être attribuée aux côtes d'Arabie.

Dans le golfe de Bengale, l'irrégularité est très-grande, à cause de la mer très-resserrée située entre des terres également échauffées. Les côtes occidentales de l'Indoustan agissent en sens presque contraire à l'action des terres situées de l'autre côté.

De même, dans la mer de la Chine et dans les divers autres lieux indiqués, le changement de direction de ce vent provient du nombre

considérables d'îles qui les environnent. L'électricité prédominant tantôt sur l'une, tantôt sur l'autre de ces îles à cause de leur différente position, la mousson peut, d'un jour à l'autre, changer de direction et d'intensité.

On ne peut raisonnablement contester l'action solaire sur la direction des moussons. On peut la voir d'une manière frappante en suivant l'astre dans sa déclinaison. Le changement de l'alizé en mousson ne se fait pas sur toutes les contrées à la fois ni instantanément sur chacune, mais lentement, comme nous l'avons déjà dit. Ainsi, par exemple, la mousson commence à souffler d'abord dans les lieux les plus rapprochés de l'équateur, et ensuite dans les autres. A Anjengo (lat. 8°30′) les premiers vents variables commencent avant la moitié d'avril ; à Cochin (lat. 9°58′) quelques jours après ; à Goa (lat. 15°29′) vers le commencement de mai ; à Bombay (lat. 18°56′) c'est seulement vers la moitié de ce mois que les calmes commencent à être interrompus par de nouveaux vents, et la mousson se régularise ensuite peu à peu.

D'après Clapper, sur la côte de Coromandel, entre la fin d'une mousson et le commencement de l'autre, les vents sont variables et participent des deux directions. Le calme règne souvent pendant tout le mois de septembre et une partie d'octobre. Aussitôt que le soleil venant du Sud commence à s'approcher du zénith, la mousson du N-E. s'affaiblit et il y a tous les jours des brises alternantes de terre et de mer, phénomène que l'on n'observe pas au commencement de la mousson. A cette époque, le vent paraît tourner régulièrement avec le soleil et faire le tour du compas dans les vingt-quatre heures. (Clapper, *Observations on the Winds and the monsoons*, p. 42. — Dove, *Loi des tempêtes*, p. 42.)

Voici ce que nous écrit de Jaffna (île de Ceylan) le R. P. Salaun, missionnaire apostolique des oblats de Marie : « Vers la mi-avril, la mousson du S-O. se présente, et celle du N-E. semble céder la place, *mais elle revient quelques jours après*. Il paraît s'établir alors entre ces deux vents une espèce de combat. D'abord ils sont seuls à l'action, bientôt ils viennent tour à tour accompagnés de quelques nuages. Un peu plus tard, chacun de son côté se met à amonceler dans le ciel des nuées sombres. Tout l'horizon est tendu de noir. Le

moment décisif est arrivé ; les deux vents se déchaînent et paraissent s'entrechoquer au milieu des éclairs, des éclats de tonnerre et des torrents de pluie. Dans la langue du pays, on a donné à ce combat le nom de *Sittirei Koulappam*, qui veut dire mêlée d'avril, parce qu'elle tombe vers le 28 avril des payens, jour qui coïncide, je crois, avec le 8 de notre mois de mai. La victoire reste à la mousson de S-O., qui règne jusque vers la fin de septembre. (Voir les documents à la fin du volume.) »

Presque partout, avant que la mousson s'établisse, le calme alterne pendant plus ou moins longtemps avec des vents variables ; souvent elle est précédée ou suivie par un ouragan plus ou moins violent (1).

Il ne faut pas croire cependant que lorsque la mousson est établie, sa direction soit constamment la même ; elle change plus ou moins comme l'alizé, dont elle ne diffère pas, et dont elle prend parfois la direction dans quelques parages. Ainsi, dans le golfe de Bengale et dans la mer de la Chine, la mousson S-O. change tellement de direction, qu'il n'est pas rare d'y voir apparaître, par intervalles, un vent en direction de l'alizé de l'hémisphère austral. Qu'est-ce que ce vent, sinon l'alizé S-E. lui-même, s'inclinant plus ou moins, tantôt à l'Est, tantôt à l'Ouest de l'équateur ?

Dans ces deux endroits comme dans le golfe d'Oman, le vent de S-E. se fait sentir dans les mois de mai, de juin et d'octobre, mais alors on ne l'y voit pas aussi souvent que dans les mois de juillet, août et septembre.

Du méridien 130e Est au 147e, entre le 4e et 17e parallèle Nord (2),

(1) Plusieurs auteurs ont affirmé que l'ouragan se déchaîne tous les ans à l'époque du renversement de la mousson. Cela n'est pas tout-à-fait exact, car le plus souvent le changement se fait, ou paisiblement, ou à la suite d'un simple orage plus ou moins violent, mais qui est bien loin d'être un typhon. On peut même affirmer qu'aucune contrée n'est visitée tous les ans par ce redoutable fléau. Il se passe parfois plusieurs années sans qu'il fasse son apparition. Ainsi, l'île Bourbon, qui en février 1860 éprouvait les effets du terrible cyclone décrit par M. Bridet, n'avait pas vu se produire depuis cinq ans ce redoutable phénomène.

(2) Cet espace n'est pas aussi régulier que nous venons de l'indiquer. Les vents variables règnent sur une superficie demi-circulaire qui commence au 1e parallèle Nord, sur le méridien des îles Pelew ou Palaos, et remonte ensuite insensiblement



les moussons conservent, encore moins que partout ailleurs, une direction fixe, puisqu'elles alternent avec tous les vents qui soufflent entre le S-O. et le N-E., bien que la direction S-O. ait lieu plus souvent. Ces vents ont en général aussi une tension très-variable, et ils soufflent par intervalles pendant une grande partie de juin et tout le mois de juillet. Aux mois d'août et de septembre, on y trouve des vents de S., de S-E., d'E., et parfois même un vent de N-E.

Dans l'hémisphère austral, la mousson est beaucoup plus faible, et sa direction ne devient, presque nulle part, entièrement contraire à l'alizé, excepté dans quelques rares parages parmi les plus éloignés de l'équateur.

D'après M. Jansen, voici quelle est, dans la mer de Java, la direction de la mousson et comment se fait le renversement : « Pendant le mois de février, la mousson de l'O. souffle encore fort et fixe, en mars elle est interrompue par des calmes, qui deviennent moins fréquents et moins violents en avril. Alors les vents d'E. font irruption très-brusquement, les nuages s'amassent et couvrent le ciel, tandis que les orages avec coups de tonnerre sont incessants pendant le jour et la nuit, et les trombes d'eau sont très-fréquentes. Si le vent tourne à l'O. ou au N., le ciel s'éclaircit de nouveau; mais ce vent ne dure pas, et les nuages reparaissent aussitôt. La pluie cesse graduellement pendant le jour, et le vent de S-E. souffle pendant tout le mois de mai. A l'époque du renversement des moussons de l'E. et de l'O., les calmes règnent pendant une période d'autant plus courte que le vent prend une direction N-O. plus décidée, et les averses de pluie accompagnées de rafales violentes ne durent que très-peu de temps. Les orages avec tonnerre sont fréquents, mais sur la terre seulement ou près de la côte. Vers la fin de novembre, la mousson du N-O. est établie d'une manière permanente. » (DOVE, *Lois des tempêtes*, page 43.)

Voici ce que dit Romme de la côte Sud de Java : « Pendant que la mousson est N-E. au Nord de la ligne, le vent souffle sur cette côte du N-O. à l'O., comme dans le détroit de la Sonde; cette mousson cesse en mars. Les vents sont variables en avril; ils se

en passant entre les îles Morlok et les îles Ouléaï (Archipel des Carolines); en sorte que cet espace renferme toutes ces dernières et quelques-unes des îles Mariannes.

fixent à l'E. en mai avec beau temps, et ils sont dans leur plus grande force de juin, jusqu'à la fin de septembre. En octobre, cette mousson S-E. s'affaiblit, et pendant sa durée quelquefois les vents varient à se diriger du N-E. : à la fin d'octobre, et jusqu'au retour de la mousson N-O., les vents sont variables. » (ROMME, v. 1, p. 136.)

Le même anteur, en parlant du détroit de Malacca, dit : « Le canal est placé dans la région des moussons de S-O. et N-E., cependant les vents y sont souvent variables. Aucune de ces moussons ne se montre d'une manière certaine et fixe pendant longtemps dans ce détroit, excepté le temps où sur les mers voisines ces vents périodiques sont dans lenr plus grande force ; encore ne sont-ils alors que joli-frais en dedans dn canal, et pendant une partie dn jour seulement. » (*Ibid*, p. 145.)

Tout autour de Java, la mousson à la même époque prend des directions différentes, à cause, sans doute, des îles nombreuses qui s'y rencontrent. Rommo nous donne des détails sur les moussons de plusieurs de ces îles, mais ces détails sont très-incomplets. Dans tout ce qu'il dit depuis la page 93 à la page 110, il n'y a que des faits disparates qu'il est impossible de coordonner pour en tirer quelque conclusion dans n'importe quelle théorie. On peut seulement constater une action des terres.

« Des observations faites de 1850 à 1856 à Palembang, dit M. Dove, sur la côte Nord de la partie Sud-Est de Snmatra, ont donné les résultats suivants : de novembre en mars, les vents dominants soufflent de l'O. et du N-O. C'est la saison des pluies régulières pendant la mousson de l'O. En avril, la mousson change (*Kentering, der Moesons.)*, et les orages avec tonnerre sont le plus fréquents. De mai à septembre, les vents de la partie de l'E. et du S-E. *(Ostmoesons)* prédominent, et le changement a lieu en septembre on octobre. Il paraît, d'après cela, que le vent fait très-régulièrement le tour du compas, car sa direction moyenne pour chaque mois, si nous comptons du Sud à l'Ouest, est 7° O., 20° O., 30° O., 28° N., 79° N., 85° N., 6° E., 21° E., 18° E., 25° E., 30° S., 4° O. »

« A Banjermassing, sur la côte Sud de Bornéo, la mousson du S-O. souffle de décembre en mars, la mousson du S-E. d'avril en

octobre. L'époque du changement semble durer peu. La pluie est plus abondante de juillet à octobre, tandis que les orages avec tonnerre sont plus fréquents dans les mois de novembre, décembre et mai, à des époques par conséquent plus tardives que celles des changements des moussons. Au reste, il y a entre chaque année des variations considérables à cet égard. Ainsi, en 1851 on a observé 18 orages avec tonnerre, tandis qu'il y en a eu 83 en 1857.

» Si l'on examine avec soin la direction du vent, on trouve les résultats suivants : En décembre, la direction prédominante du vent est S-O. et O-S-O., et il devient plus O. en janvier et février. En mars, sa direction est moins constante pendant le jour. En avril, le vent de S-E. domine, et sa stabilité augmente jusqu'en août et septembre. En octobre, il hale vers le S.; en novembre, il tourne encore plus au S. le matin et dans l'après-midi; le vent tourne par le S. et prend de l'O. Enfin, en décembre, la mousson du S-O. est définitivement établie. (Dove, p. 44, 45.) »

Ces détails, M. Dove les a pris d'un travail de Krecke, qui est le résumé des observations contenues dans l'ouvrage intitulé : *Observations météorologiques dans les Pays-Bas et leurs colonies.* Toutes les autres directions que nous avons données ou que nous donnerons dans la suite, sans citer les sources auxquelles nous avons puisé, sont le résultat direct de nos études sur les cartes que nous avons déjà plusieurs fois citées.

Il devient impossible de se rendre compte d'une manière précise de toutes les diverses directions que les moussons prennent aux différents parages du globe, parce qu'il faudrait connaître au juste les directions des terres, leur hauteur et leur configuration, parce qu'il nous faudrait plus de détails que nous n'en possédons sur la manière dont les variations arrivent, et parce que les époques de ces variations pour un même lieu ne sont ni stables ni accompagnées des mêmes particularités. Cependant, si cela nous est impossible, il nous sera possible, au moins pour un certain nombre d'endroits, de constater le rôle que jouent les terres.

Ainsi, nul ne contestera le rôle des terres sur les variations qui se succèdent aux environs du groupe des îles de la Malaisie (Java, Bornéo, Célèbes, Mindanao, etc.); bien que nous ne puissions en-

trer dans aucun détail pour aucun des points dont nous venons de parler.

Mais si nous descendons plus bas vers l'Australie et si nous examinons non les directions particulières de chaque point de la côte, mais la direction générale moyenne sur la partie Nord-Nord-Ouest entre les méridiens de 108° et 120° Est, nous trouverons la mousson venir du N-O. et s'y conserver avec une certaine régularité pendant les mois de janvier, février et mars. Or, c'est à ces époques que le soleil exerce plus puissamment son action sur le Nord de cette grande terre où il est alors perpendiculaire, car c'est précisément en mars qu'il atteint le tropique du capricorne. Cette direction N-O. ne commence pas sur toutes les parties de cette côte en même temps, mais d'autant plus tard que nous descendons vers le Sud. A la saison opposée, la direction de l'alizé est non pas S-E. mais N-E., comme nous l'avons déjà fait remarquer au chapitre précédent. On voit donc dans une époque et dans l'autre l'action des terres d'une manière bien marquée.

M. Dove parle dans ces termes de l'action de la côte Ouest de l'Australie : « Pendant tout le temps que le soleil est au Sud de l'équateur, l'Australie paraît attirer de tous les côtés les vents qui soufflent habituellement sur les mers adjacentes ; et de fait, autant du moins qu'on peut en juger par les observations qui ont été faites jusqu'à présent, elles indiquent une raréfaction de l'air sur la partie de ce continent qui est dans la zone torride. Nous avons expliqué déjà l'influence de sa côte Nord sur la mousson. On observe une influence semblable sur sa côte Ouest, car l'alizé du S-E., en approchant de la terre, tourne graduellement vers l'O. par le S. (Dove, p. 68.) »

Près des côtes occidentales d'Amérique, dans l'espace très-restreint où la mousson domine, la direction de ce vent est S-O., comme celle de l'hémisphère Nord, dont elle est la continuation. Cette mousson ne se déclare pas en même temps aux deux hémisphères. Dans l'hémisphère Nord, l'inversion de l'alizé commence dans les parallèles plus élevés, selon que le soleil s'est éloigné d'eux en descendant vers le Sud. Dans ce second hémisphère, au contraire, la mousson gagne toujours de plus en plus les divers parallèles, selon que l'astre en

approche ; en sorte que ce vent, en décembre, règne environ sur le 8e parallèle Sud. Son étendue, à partir des côtes, se rétrécit cependant de plus en plus, selon que le soleil s'avance en déclinaison australe. Tandis qu'en juillet, août et septembre, sur l'équateur, ce vent s'étend à 10° des terres, vers novembre on ne le trouve plus qu'à un degré de la côte, sur le 8e parallèle seulement.

La raison de la direction S-O. des moussons australes est, sans contredit, l'action de toutes les îles de la mer des Antilles, et, surtout, la partie de l'Amérique méridionale située dans l'hémisphère Nord. La grande chaîne des Andes exerce une action frappante sur la direction des vents, tant sur l'Océan Atlantique que sur le Pacifique. Dans la mer des Antilles, en effet, les vents sont dirigés toute l'année à peu près vers les Cordillères, malgré l'influence de toutes les îles voisines et des côtes Nord de l'Amérique du Sud. Il n'est donc pas étonnant que les Andes aient une influence aussi sur les vents de leur côté Ouest.

A cette action s'unit encore celle de la zone des calmes qui, en aucune époque, ne franchit l'équateur ; voilà pourquoi, quoique le soleil soit sur le tropique du Capricorne et qu'il ait atteint, par conséquent, son plus grand écart vers le Sud, son action sur cet hémisphère n'est pas suffisante pour faire dévier sensiblement la mousson de la direction indiquée.

L'action des terres n'est nulle part peut-être mieux caractérisée que sur les côtes occidentales d'Afrique. Tirez, du 15e de longitude orientale sur le 30e de latitude Sud, une ligne oblique qui aille couper l'équateur entre le 6e et le 7e de longitude Ouest, l'espace compris entre cette ligne et les côtes Africaines est dominé par des vents dont la direction se tient toute l'année entre le S., le S-E. et le S-O. Si nous examinons les différents points des côtes autant que nous le permettent les connaissances que nous possédons, nous trouverons que la mousson devient d'autant plus Ouest que la direction des côtes devient moins oblique à l'équateur (Carte 1).

Ainsi, sur les méridiens qui passent entre le cap des Palmes et l'extrémité orientale de la côte des Esclaves, la direction des moussons approche beaucoup du S., c'est que là les côtes de la Guinée sont presque parallèles à l'équateur. Sur les côtes de Calabar, qui se

relèvent suffisamment en faisant un angle assez fort avec l'équateur, la mousson est S-O.

Depuis le golfe de Biafra, en venant toujours vers le Sud, les côtes sont presque perpendiculaires à l'équateur ; le vent aurait dû donc souffler plutôt de l'O. que du S. Cela serait arrivé réellement selon nous si toute l'étendue des terres, depuis la côte des Dents ou de l'Ivoire jusqu'à celle de Calabar, n'exerçait aucune influence. C'est l'action de ces terres qui fait conserver au vent une direction entre le S. et l'O. à l'époque où le soleil est en déclinaison boréale. En effet, dès le commencement de juin jusqu'en septembre, le vent vient presque directement du S.; mais lorsque l'astre décline vers l'hémisphère austral et que l'influence des terres boréales diminue, sa direction se modifie tellement qu'en janvier, février et mars, il vient du S-O., mais plus O. que S.

L'action des terres sur les variations de la mousson et de l'alizé est reconnue par tous les auteurs qui se sont sérieusement occupés de cette matière. On a déjà entendu que M. Dove attribue avec raison à l'action des côtes d'Australie, les variations des vents qu'on observe tout autour de cette vaste contrée. Voici comment le même auteur reconnait cette action dans les côtes occidentales d'Afrique et dans la chaîne des Andes :

« D'après Glas, dit-il *(History of the Canary Island)*, l'Afrique exerce une influence très-importante sur la direction de l'alizé du N-E. dans l'Océan Atlantique. Le vent de N-E. subit une déviation vers la côte d'autant plus grande que les îles sur lesquelles les observations ont été faites sont plus rapprochées de la terre ferme. En vue de la terre le vent est presque N. (soit N. q. N-E.). A Lanzerotte et à Fuertaventura, il est N-N-E. ; à la grande Canarie, N-E. ; à Ténériffe, N-E. q. E. ; et enfin à Palma, un peu plus E. ; direction qu'il conserve sur toute la surface de l'Océan Atlantique.

« Les hautes terres des îles Canaries, Ténériffe et Palma arrêtent si complétement ces vents, que lorsqu'ils soufflent avec force au côté Nord-Est des îles, il fait absolument calme du côté opposé. Glass dit que l'espace abrité par les îles s'étend à 20 et 25 milles sous la grande Canarie, 15 sous Ténériffe, 10 sous Gomère et 30 sous Palma.

» La chaîne des Andes exerce sur l'alizé du S-E., lorsqu'il passe sur le continent de l'Amérique du Sud, une influence semblable, mais sur une plus grande échelle, à celle des îles Canaries sur l'alizé du N-E. dans l'Océan Atlantique Nord. Nous devrions également trouver un espace abrité sous le vent de ces hautes montagnes, le long des côtés de l'Océan Pacifique, et, comme dans l'Ouest des îles Canaries, les lames devraient déferler à la limite des calmes; mais, dans la zone que nous décrivons, l'alizé qui a une grande force pénètre jusqu'à la côte et produit, au lieu du calme, des vents de S-S-O. lorsque la terre court du Nord au Sud; S-O. lorsqu'elle se dirige du Sud-Ouest au Nord-Est, et enfin S. lorsque sa direction est du Sud-Sud-Est au Nord-Nord-Ouest. Sur la côte du Pérou, ces vents s'étendent sans variation jusqu'à 140 et 150 milles au large; il deviennent ensuite graduellement des vents alizés ordinaires, et à 200 milles de distance on trouve le véritable alizé à l'E-S-E. (Dove, p. 64, 66.) »

Inutile d'apporter d'autres témoignages. Météorologistes et marins reconnaissent, comme nous, l'action des terres sur la direction des courants atmosphériques. Nous l'avons déjà plusieurs fois répété. Nous différons seulement d'opinion sur la nature de cette action. Pour eux elle ne consisterait que dans un effet mécanique direct de la chaleur, pour nous ce n'est qu'un effet direct de l'électricité des terres. L'action calorifique du soleil, comme telle, n'influe pas *directement* sur les mouvements de l'atmosphère, elle n'agit qu'indirectement, dans ce sens, qu'à toute autre condition égale, l'électricité augmente sur un point quelconque de la surface terrestre en raison de l'intensité du rayonnement calorifique qu'elle reçoit.

Nous avons dit que les moussons existent près des côtes; nous devons ajouter ici qu'il faut faire exception de tous les parages où règnent les brises journalières, car partout où les brises dominent, la mousson n'a pas lieu; et si la mousson ayant acquis plus d'intensité vient à envahir l'espace dominé par les brises, celles-ci perdent leur régularité et disparaissent même tout à fait.

Il est juste de faire remarquer ici que d'autres, avant nous, avaient déjà affirmé que dans divers endroits les moussons ne sont

autre chose que la continuation de l'alizé. Nous ne différons que pour l'appréciation des causes qu'occasionne le changement.

« Pour s'assurer, dit M. Ploix, qne la mousson de S-O. est bien réellement la continuation de l'alizé S-E., il suffit de se reporter aux observations des journaux de bord. On y verra qn'en août on trouve les vents de S-E. halant le Sud de plus en plus à mesnre qu'on s'approche de l'équateur, puis halant l'Ouest du Sud et qu'on atteint la mousson de S-E. sans calmes intermédiaires. (Ploix, *Météorologie nautique*, p. 73.) »

M. Jansen, lieutenant de vaisseau de la marine hollandaise, d'après ses propres recherches, croit « que la mousson de N-O. qui souffle sur la côte de l'Australie serait la continnation de l'alizé de N-E. *(Ibid.)* »

M. Dove, dans un mémoire présenté à l'académie de Berlin au mois de février 1857, avait déjà avancé une proposition identique pour la mousson N-O. de la mer des Indes. « A parler rigoureusement, dit-il, la mousson du N-E. n'est autre chose qu'un alizé, elle devient mousson seulement lorsqu'en pénétrant dans l'hémisphère austral elle prend la direction N-O. » Et il ajoute : « Quant à la cause même qui la fait pénétrer dans l'hémisphère boréal jusqu'à l'Himalaya et même jusqu'au Japon, on doit la chercher dans la diminution qu'éprouve pendant l'été l'atmosphère du continent asiatique, etc. *(Annales de Phys. et de Chimie*, 3e série, 1857, vol. 15.) »

M. Dove a cependant plus tard formulé une proposition inverse. An lieu de regarder les moussons comme une déviation des alizés, il affirme que ces derniers ne sont que des moussons imparfaites. Voici comment il s'exprime dans son ouvrage, que nous avons déjà plusieurs fois cité : « Il serait certainement plus exact de dire que l'alizé n'est qu'une mousson imparfaitement développée, que de considérer cette dernière comme la modification du premier. *(Loi des tempêtes*, p. 40.) » D'après cette manière de voir, l'alizé ne serait, pour ainsi dire, que l'exception; le vent dominant serait la mousson. Mais ceci se trouve en opposition avec les faits.

Le savant météorologiste essaie de pronver sa proposition en remontant aux Arabes et anx Grecs du temps d'Alexandre, et il cite,

entre autres, le témoignage d'Aristote. Mais les nomenclatures des Arabes et des Grecs ne pourraient aujourd'hui être invoquées pour prouver que les moussons sont les vents dominants. Les Grecs et les Arabes, qui connaissaient très-bien la Méditerranée, ne connaissaient presque pas les grandes mers. Lorsque dans leurs voyages ils rencontraient des vents soufflant pendant quelques semaines dans la même direction, ils supposaient qu'ils changeraient de direction à la saison opposée, comme les vents étésiens, qui sont la mousson N-E. de la Méditerranée, laquelle, à une autre époque, se change en mousson d'O. En outre, les Grecs et les Arabes ne s'éloignaient pas beaucoup des côtes; il n'est donc pas étonnant qu'ils aient trouvé réellement la mousson dominer partout sur leur route.

L'auteur s'appuie ensuite sur Halley; or cet astronome a généralisé un peu trop les faits particuliers qu'il a observés. L'ensemble des faits que nous avons apportés au chapitre II de ce même livre, prouve suffisamment que l'alizé est bien loin d'être une exception, comme le savant météorelogiste de Berlin le voudrait. Halley, d'ailleurs, lui-même affirme d'une manière très-explicite que l'alizé règne en plusieurs endroits d'un bout à l'autre de l'année. Je citerai un passage de cet auteur rapporté par M. Dove lui-même. « Entre 10° et 30° de latitude Sud, dit-il, de Madagascar à la Nouvelle-Hollande, on trouve l'alizé général de S-E. q-E. environ, soufflant pendant toute l'année, absolument de la même manière que sous les mêmes latitudes dans l'Océan Éthiopien. (*Trans. phil.*, *1686*, p. 158. — Dove, p. 40.) Il n'est donc pas permis de regarder l'alizé comme une mousson imparfaite. On sait au reste aujourd'hui que les moussons ne se trouvent que dans les mers resserrées et que l'alizé domine toute l'année dans les mers libres. Celui-ci doit être donc regardé comme un vent principal, l'autre commo une simple variation. Cependant en disant que l'alizé règne toute l'année dans les mers libres, nous n'entendons pas affirmer qu'il conserve toujours la même direction, mais seulement que l'inversion n'a pas lieu comme sur les parages où dominent les moussons.

Le mieux serait, je crois, de regarder l'alizé et la mousson comme des vents identiques, puisqu'ils sont produits par les mêmes

causes, lesquelles sont la rotation terrestre et la chaleur des terres selon les anciennes hypothèses, et, d'après notre théorie, l'électricité des terres et celle de la zone des nuages de la région des calmes.

## CHAPITRE IV.

### THÉORIE DES BRISES ALTERNANTES.

Les brises qui alternent parfois dans nos climats tempérés entre la terre et la mer se succèdent régulièrement tous les jours presque sur toutes les côtes des régions équatoriales. C'est là que nous devons les étudier, parce qu'elles se présentent accompagnées de circonstances qui ne laissent aucun doute sur leur origine et sur leur nature.

Nous commencerons par mettre sous les yeux du lecteur une fort belle description des brises qui alternent sur les côtes de Java ; elle est de M. Jansen et rendue élégamment en français par M. Félix Julien, lieutenant de vaisseau de la marine impériale.

« A Java, nous dit-il, dès que les premiers rayons du soleil sortent du sein des flots, on voit à l'horizon la fumée des volcans couronner la cime des montagnes. L'air est immobile dans ces hautes régions. Les blanches colonnes qui les dominent montent verticalement dans un ciel sans nuages.

» C'est l'heure où, sur la côte, la brise du matin n'est pas entièrement éteinte ; elle ride encore la surface des flots et emporte avec elle les fraîches vapeurs qui viennent ranimer les habitants de ces contrées brûlantes.

» Aux premiers feux du jour, en effet, tout renaît, tout s'éveille. Au profond silence de la nuit succèdent les mille bruits divers, les mille voix confuses de la nature entière. Tout ce qui vit sent le besoin de répandre au dehors ses accents d'amour et de reconnaissance. Chacun, dans sa voix, vient ajouter sa note à l'hymne du matin ; l'air, encore tout humide de la rosée du soir, en transmet les accords et en emporte au loin, sur la mer et les monts, les sons ravissants et joyeux.

» Mais à mesure que le soleil s'élève, la voûte des cieux s'inonde de lumière. La brise du matin joue encore quelque temps, mais, bientôt épuisée, elle tombe et s'endort. Le calme se répand sur la terre et la mer, et pourtant l'atmosphère est loin d'être immobile. Sous l'action de la chaleur croissante, l'air vibre et se dilate en ondes verticales. Ce tremblement léger, imperceptible aux sens, produit le doux frémissement qui divise et fait scintiller en gerbes lumineuses les rayons du soleil que réfléchit au loin la surface ondulée mais polie et miroitante des flots.

» Pour le marin qui croise à quelques lieues des côtes, le rivage semble se rapprocher alors et déployer à ses yeux toutes ses séductions. Les contours paraissent plus distincts, les détails plus nettement marqués. C'est surtout dans la saison des pluies que les couches de l'air sont le plus transparentes ; si limpide est alors l'atmosphère, qu'en plein jour on peut quelquefois apercevoir Vénus, et qu'à plus de vingt-cinq ou trente lieues au large on commence à découvrir le profil des montagnes dont le sommet ne s'élève pas à plus de deux mille mètres au-dessus de la mer.

» Trompé par le mirage, le navigateur craint d'avoir été le jouet des courants ; inquiet, il sonde, il interroge le ciel et le rivage ; plein d'anxiété, il attend les premiers souffles du vent qui doivent l'écarter des dangers vers lesquels il croit être entraîné. En ce moment d'ailleurs, la chaleur sur le pont devient insoutenable, les planches brûlent sous les pieds, les rayons du soleil dévorant pénètrent tout obstacle. Mais fort heureusement, c'est l'heure où la lutte va s'engager au large entre les ondulations verticales de l'air et le mouvement transversal qui sollicite vers la plage la brise de la mer.

» A l'horizon, en effet, apparaissent sur les eaux quelques taches d'une teinte azurée ; ce sont les premières bouffées qui viennent effleurer et ternir la surface transparente des flots. Elles disparaissent, reviennent, s'étendent, se prolongent et finissent par former une large ceinture d'un bleu foncé qui annonce l'approche de la brise du large. Une heure ou deux s'écoulent quelquefois entre l'apparition de ces premiers indices et l'établissement définitif du vent. Il arrive enfin, frais et vivifiant, persiste, se maintient et règne sans obstacle jusqu'au déclin du jour. Quand le soleil descend vers l'horizon, on

remarque presque toujours un redoublement dans l'intensité de la brise ; on dirait qu'elle a hâte d'achever sa tâche journalière ; au-dessus de la mer, l'air rafraîchi se charge d'une vapeur légère. Ce n'est qu'une brume grisâtre qui enveloppe les pointes et les caps, et qui étend un voile de fumée sur le profil des côtes et les contours du rivage. D'épais nuages noirs s'arrêtent sur les mornes et restent suspendus sur le flanc des montagnes.

» Tourmentée par la brise, la mer est courte et saccadée. De la crête des lames qui se heurtent, on voit se détacher une poussière humide, une pluie floconneuse que le vent chasse au loin, et que les rayons du soleil colorent en franges irisées, en flammes tournoyantes.

» Pendant ce temps, les nuages continuent à s'amonceler sur les sommets lointains. La foudre y retentit déjà, et quelques éclairs commencent à percer le voile de vapeur qui couvre le rivage.

» Le jour touche à son terme. A peine le soleil a-t-il disparu sous les flots, que la brise du large tombe peu à peu et expire. La mer elle-même s'apaise, la brume se dissipe, les étoiles scintillent, tout est calme et limpide dans l'air et sur les flots ; mais sur la terre, au contraire, l'atmosphère est chargée et le ciel menaçant. Sur le haut des montagnes, la foudre gronde, l'horizon est en feu, la pluie tombe à torrents.

» Retenu par le calme, le navigateur suit pourtant sans terreur les progrès de l'orage ; il sait que c'est de ce côté que doit venir le vent ; il en guette le premier souffle : c'est lui qui doit gonfler sa voile et lui permettre, pendant toute la nuit, de s'élever au large.

» Du côté de la terre, en effet, les sombres vapeurs se dégagent, le ciel change d'aspect, l'horizon s'éclaircit, et du haut des montagnes se détachent des masses nuageuses que chassent vers la mer les premières bouffées de la brise ; elles sont assez souvent précédées ou suivies de quelques grains de pluie. Les premières risées arrivent toutes chargées des parfums du rivage ; elles se succèdent, se multiplient, et finissent par souffler fraîches et régulières jusqu'au lever du jour. Çà et là quelques nuages noirs continuent à se détacher de la cime des monts ; ils fuient et se dispersent au-dessus de la mer. C'est un signe assuré que le vent règnera avec assez de force pendant toute la nuit.

» L'atmosphère d'ailleurs est pure et transparente ; les étoiles scintillent avec un vif éclat ; leur brillante lumière fait ressortir au sein de la voûte azurée les mystérieuses lacunes, les sombres et incommensurables abîmes, *the cold sacks*, sur lesquels se détachent en signes flamboyants les bras étincelants de l'immobile Croix du Sud. Dans la magnificence de ces nuits tropicales, la surface des flots réfléchit les merveilles du ciel ; l'air demeure inondé d'un vague et doux éclat, dont les tremblants reflets rappellent la clarté des nuits crépusculaires de nos froides contrées. (JULIEN, *Courants et révolutions de l'atmosphère*, chapitre 3.) »

Cette description, du côté littéraire, ne pourrait être plus belle ni plus pittoresque. Certes, si M. Jansen avait mis à nous raconter les faits autant de soin qu'il en a mis à orner son style, nous aurions une description parfaite et du côté littéraire et du côté scientifique ; malheureusement, ce dernier côté laisse beaucoup à désirer.

Ainsi, par exemple, la lutte entre les ondes verticales de l'air et le mouvement transversal, au commencement de la brise du large, est une supposition de l'auteur. Lui-même, en effet, dit que *le tremblement léger des ondes verticales est imperceptible aux sens*, et nous avons démontré que ce mouvement, non seulement n'existe pas, mais qu'il ne peut exister. De plus, il ne nous donne aucun détail sur la configuration des côtes, ni ne précise les points de ces côtes sur lesquels les brises sont plus régulières et plus intenses. En outre, laquelle des deux brises acquiert plus de force, ou se lève plus tôt après la disparition de celle qui l'a précédée? A quelle heure le vent du large commence-t-il? L'auteur ne nous le dit pas non plus. Mais ce que nous regrettons davantage, c'est que M. Jansen n'ait presque pas fait attention aux phénomènes électriques. Il dit, à la vérité, qu'*au coucher du soleil, sur les hautes montagnes, la foudre gronde, et l'horizon est en feu ;* mais ces expressions ne donnent qu'une idée bien pâle de la réalité.

On sait qu'à Java il ne se passe pas de jour où l'orage n'éclate sur presque toute la longueur des chaînes des montagnes qui la sillonnent, et c'est précisément vers le coucher du soleil que les premiers éclairs annoncent la tempête.

Deux heures environ après que la brise du large a commencé à souf-

fler régulièrement, on voit paraître çà et là sur tous les points de l'horizon des voiles de vapeur, venir vers les montagnes et s'y arrêter comme immobiles sur toutes les cimes, où ils finiront par former, selon les saisons, un nimbus plus ou moins épais.

Avant qu'on ressente le premier souffle de la brise de terre, la foudre gronde déjà sur les montagnes ; peu à peu la quantité de l'électricité a tellement augmenté, qu'à chaque coup de tonnerre la terre en est ébranlée.

Les climats tempérés n'offrent aucune idée, ni de la quantité d'eau qui, à la saison des pluies, tombe à la suite de chaque coup de tonnerre, ni de la violence du coup de tonnerre lui-même. Ce ne sont pas des torrents de pluie : on dirait que le ciel a ouvert ses cataractes pour submerger la terre sous un nouveau déluge. L'électricité sillonne l'espace avec une telle véhémence, que l'éclat de la foudre glace d'effroi les habitants, et les animaux eux-mêmes s'enfuient épouvantés en jetant des cris terribles. (De Rienzi, *Revue géographique et ethnographique de l'Océanie*, tome 1, Paris, Didot, 1836.)

A la Jamaïque, depuis les premiers jours de novembre jusqu'au milieu d'avril, les sommets des montagnes de Port-Royal commencent à se couvrir de nuages entre onze heures et midi. A une heure, ces nuages ont acquis leur maximum de densité, la pluie s'en échappe par torrents, les éclairs les sillonnent dans tous les sens, et le tonnerre gronde d'une manière si terrible, que ses roulements arrivent jusqu'à Kingston : avec ces phénomènes commence aussi la brise de terre. Elle ne dure que deux à trois heures et s'étend fort peu en mer ; vers deux heures et demie, le ciel a repris aussi sa sérénité. (Graham-Hutchison, dans un ouvrage intitulé *on Meteorology and marsh fevers, etc.*, Glasgow, 1835. — Arago, *Annuaire de 1838.)*

On trouve dans différents ouvrages la formation journalière des nuages dans des endroits où l'on sait que les brises sont régulières. Ainsi Malte-Brun (vol. 6) l'affirme pour Java. Cette île est parcourue dans toute sa longueur par une suite de trois chaînes de montagnes ; quarante-six sommets de ces montagnes sont des volcans, dont quelques-uns s'élèvent de 12,000 pieds au-dessus du niveau de la

mer. Le voyageur qui se trouve au large en face de cette île, soit dans la mer de Java, soit du côté Nord, soit du côté Sud où les montagnes sont très-rapprochées des côtes, voit tous les sommets enveloppés de nuages noirs, comme l'a dit, bien qu'en passant, M. Jansen.

Romme affirme la même chose pour Madagascar : « L'île de Madagascar, dit cet auteur, à quinze ou vingt lieues à l'Est, apparaît couverte d'une bande de nuages qui l'enveloppent durant le jour. (Romme, tome 1, page 12.) »

Nous croyons que les nuages, les éclairs et le tonnerre sont des phénomènes constants qui accompagnent le vent de terre sur toutes les terres élevées où les brises ont quelque intensité. Les observations scientifiques directes nous manquent sur ce point : nous ne pouvons pas, par conséquent, établir sur un ensemble imposant de faits notre assertion. Cependant, ceux que nous venons de citer font voir que notre opinion n'est pas une simple conception de notre esprit.

A défaut de connaissances scientifiques, nous avons envoyé une lettre circulaire à plusieurs des missionnaires qui habitent divers pays des régions équatoriales, pour leur demander des renseignements sur ce sujet et sur les autres phénomènes qui accompagnent les brises. Malheureusement le nombre des lettres reçues jusqu'ici qui ont satisfait à toutes ou à quelques-unes des questions que nous désirions voir éclaircies sont peu nombreuses, et presque toutes nous viennent de pays plats et éloignés des montagnes, où les brises n'ont ni la même régularité, ni la même intensité, ni la même durée, ni ne présentent les mêmes caractères des brises des pays élevés ou situés à proximité de montagnes. Cependant, comme ces lettres ne peuvent ne pas intéresser les savants, nous les donnerons en entier à la fin du volume, nous contentant d'en rapporter dans ce chapitre les passages qui viennent plus directement à l'appui de notre manière de voir.

M. Allay, lieutenant du port de Saint-Denis (île Bourbon), après avoir dit que les brises sont sur Saint-Denis assez variables et très-faibles pendant toute la saison des pluies, et que le ciel est généralement beau, ajoute : « Quelquefois de gros nimbus se forment dans l'Est, de 5 à 6 heures du soir, *avis certain de grandes brises pour*

*le lendemain.* » Et plus loin, en réponse à la question 9[e] de notre circulaire, ainsi conçue : « Pendant que le ciel est pur sur la mer, voit-on des nuages sur les terres? » Il dit : « *Quelquefois ; ce qui annonce la brise de terre pour la nuit.* »

M. Leclère, habile marin, qui habite depuis dix ans Sainte-Marie de Madagascar, certifie que les brises qui sont variables et faibles à la saison des pluies (de janvier à la fin d'août) sont régulières et plus fortes à la saison opposée, et que la brise de terre à cette dernière saison est accompagnée de *beaucoup plus d'éclairs et de tonnerre.*

En parlant de la baie d'Antongil, située sur la côte Est de la grande île de Madagascar, il ajoute que ces phénomènes se répètent presque toutes les nuits, avec une certaine intensité, pendant quatre mois consécutifs. « De juin à septembre, les trombes, dit-il, sont assez fréquentes dans la baie d'Antongil, surtout dans le fond (Maranchetta). *Presque tous les soirs il y a de forts orages. Presque toutes les nuits on a du N. au N-O. une petite brise fraîche qui cesse vers les six heures du matin*, puis calme... » (Voir les documents.)

De l'autre côté de Madagascar, ces mêmes phénomènes sont plus constants et plus grandioses pour les habitants des îles situées dans le canal de Mozambique et qui sont peu éloignées de la grande terre. Un des missionnaires qui pendant plusieurs années a habité Nossi-Bé, et qui, à cause d'une grave maladie contractée dans ce pays, a dû revenir en Europe, nous a donné oralement des détails fort intéressants sur les deux brises alternantes de cette île : nous les mettons sous les yeux du lecteur, tels qu'ils nous ont été donnés par le missionnaire et que nous les avons écrits sous sa dictée.

L'île de Nossi-Bé est située au Nord du canal de Mozambique : à l'Est et au Sud elle a la grande terre de Madagascar, d'où elle est à peine éloignée de 9 lieues. Au lever du soleil, le ciel apparaît d'un azur très-beau, qui ne peut nullement être comparé à la couleur que présente aux jours les plus magnifiques notre ciel de France. Le calme règne alors dans toute la nature. Les sommets élevés des montagnes de la grande île, qui dès le lever du soleil paraissaient assez distincts, se détachent, pour ainsi dire, à mesure que l'astre s'élève : il arrive un instant où même les crêtes les plus éloignées au S-O. de

cette île se dessinent si nettement qu'on dirait qu'elles se sont rapprochées de l'observateur (1).

Vers 9 heures, sur les cimes de l'Ambosténiène ou Aréquipi (c'est ainsi qu'on appelle la partie Nord de la chaîne des monts qui partagent dans toute sa longueur la grande terre de Madagascar), on commence à voir de légers voiles de vapeur, et le ciel a déjà perdu cette beauté qui le caractérisait au lever du soleil. La température directe des rayons lumineux à cette heure est insupportable depuis novembre jusqu'en avril. Ces vapeurs sont les premiers indices de la brise du large, qui ne tarde pas à se déclarer. A dix heures, en effet, elle souffle régulièrement. A cette heure, les voiles de vapeur sont déjà devenus de vrais nuages qui augmentent constamment de volume par de nouvelles vapeurs qui arrivent de toute part.

Les vapeurs et les nuages persistent immobiles sur tous les sommets et sur toutes les crêtes, en augmentant toujours de volume et de densité tant que dure le vent du large. Le maximum de force de ce vent correspond à deux heures environ de l'après-midi : il la conserve pendant quelque temps et il va en faiblissant ensuite peu à peu jusqu'au coucher du soleil. Dès ce moment, il mollit davantage et très-sensiblement : une demi-heure environ seulement après la disparition de l'astre du jour, l'atmosphère et la mer rentrent dans le calme.

Après la disparition de la brise marine, on commence à apercevoir sur l'Ambosténiène les premières lueurs des éclairs et à entendre les premiers grondements du tonnerre. La foudre fend les nues avec de terribles éclats. Les nuages commencent à se détacher des montagnes, déversant sur les terres qu'ils parcourent des torrents de pluie, et se dissipent presqu'aussitôt qu'ils ont atteint la mer. Ces phénomènes ont lieu tous les jours, à partir du mois de novembre jusqu'à la fin d'avril. Pendant toute cette époque, l'électricité qui se manifeste périodiquement chaque soir avec le vent de

(1) M. Jansen nous a déjà parlé de ce fait, que nous avons constaté nous-même souvent à Toulouse, pour les Pyrénées ; elles paraissent si rapprochées en certains jours qu'on pourrait en obtenir des photographies d'une grande netteté. Presque toutes les lettres que nous avons reçues des régions équatoriales mentionnent le même phénomène.

terre est si abondante, qu'un Européen qui n'a pas habité ces contrées ne pourrait s'en faire une juste idée. Les deux brises se succèdent régulièrement tout le reste de l'année, mais leur intensité est moindre et les phénomènes qui accompagnent la brise du soir sont beaucoup plus faibles.

Si ce dernier fait est vrai, Nossi-Bé serait un pays exceptionnel, car nulle part, à notre connaissance, les brises ne sont régulières toute l'année. Comme on l'a vu par les citations que nous avons apportées dans ce chapitre, et comme on peut s'en convaincre en parcourant les réponses données à notre circulaire, les brises à la saison des pluies ne sont pas constantes, tandis qu'à la saison opposée, leur régularité ne souffre pas d'altération. Elles ont à cette même époque une plus grande intensité, et les phénomènes électriques qui les accompagnent sont aussi plus intenses et plus réguliers. Le contraire aurait lieu à Nossi-Bé. Quoi qu'il en soit, il n'est point permis de douter de l'existence des phénomènes électriques, au moins pendant une époque de l'année.

Venons maintenant à l'explication de ces vents. Les alizés et les moussons sont dus à l'ensemble des actions électriques des terres et de la zone des nuages : le phénomène des brises est, d'après nous, *le résultat de la période électrique journalière des montagnes qui se trouvent à proximité de la mer.*

En effet, dans les pays plats ou qui ne se trouvent pas près de terres élevées, les brises alternantes n'existent pas, ou, si elles existent, elles y sont faibles, durent comparativement peu de temps chaque jour, et sont fort souvent masquées par la mousson, qui règne presque partout au large, au-delà de la limite des brises elles-mêmes.

On a vu au premier chapitre de ce livre comment les vapeurs prennent la direction des terres. Les choses se passent de la même manière sur tous les parages dominés par les brises, tant que dure le vent du large. Le matin, l'air est calme parce que l'équilibre électrique entre les terres et la mer s'est établi; mais aussitôt que le soleil paraît sur l'horizon, l'équilibre électrique doit nécessairement être troublé, soit parce que cet astre répand d'abord ses flots de lumière et de chaleur sur les sommets des montagnes et ensuite sur la mer

et sur la plaine; en outre, parce qu'on sait que la tension électrique aux diverses heures du jour, toute autre condition égale, est d'autant plus forte que les sommets des montagnes sont plus élevés et plus dégagés. Or, le ciel étant pur au lever du soleil, les vapeurs qui se forment sur la mer, de même que les corps situés sur la surface terrestre, sont toutes électrisées positivement. Les cimes des montagnes, au contraire, sous l'influence de l'électricité de l'atmosphère, sont à l'état négatif : les vapeurs se dirigeront donc vers ces sommets.

Ce mouvement sera d'abord imperceptible, parce qu'aux premières heures du jour les différences de tension ne peuvent être que très-faibles, et, qu'en outre, il n'existe pas de vapeurs visibles dans l'atmosphère. Mais lorsque la tension électrique augmente, le mouvement des vapeurs doit nécessairement s'animer. Rien ne trahira encore ce mouvement. Il ne se révèlera que lorsqu'il se sera formé dans l'atmosphère des vapeurs visibles, ce qui ne peut avoir lieu que lorsque l'air commencera à être chargé de vapeurs et lorsque son mouvement sera suffisamment animé pour occasionner un refroidissement capable de déterminer la condensation d'une partie de ces vapeurs. Voilà pourquoi les voiles de vapeur et les premières bouffées du vent se déclarent à Nossi-Bé, à Java et à Saint-Denis, entre 8 et 9 heures ; car c'est à cette heure que ces conditions peuvent se réaliser.

Le vent du large, dans les trois lieux que nous venons d'indiquer, va en augmentant jusqu'à deux heures de l'après-midi, moment auquel correspond son maximum d'intensité. Cela arrive, selon nous, parce que la tension de l'électricité atmosphérique va en croissant aussi, et son maximum diurne correspond fort probablement à deux heures de l'après-midi. Nous disons fort probablement, car bien que nous n'ayons pas d'observations directes sur la période électrique de ces contrées, il nous est permis de le déduire, d'après les observations faites pendant l'été sur les montagnes de nos climats tempérés. On a vu (Livre II, chap. VIII), que Saussure sur le Saint-Bernard et M. Palmieri sur le Vésuve ont précisément trouvé le maximum diurne à deux heures environ de l'après-midi. L'observatoire du Vésuve surtout se trouve dans des conditions analogues aux montagnes des régions des brises régulières, puisqu'il est assez élevé, assez éloigné de toute habitation et près du rivage de la mer.

Depuis deux heures, la brise commence insensiblement à faiblir, et elle baisse graduellement jusqu'au soir de la même manière qu'elle avait augmenté, par la raison que l'électricité atmosphérique depuis ce moment commence elle aussi à perdre de son intensité et diminue peu à peu jusqu'au soir. Cette diminution provient de ce que les rayons solaires devenant plus obliques à l'horizon, l'action de l'électricité terrestre est moins contrariée. Il y aura un moment où l'équilibre s'établira entre les deux actions, et l'atmosphère rentrera dans le calme.

Selon que l'obliquité des rayons solaires augmente, la température diminue; une partie des vapeurs élastiques contenues dans l'air se condense, rend l'air lui-même moins mauvais conducteur, et finit par laisser passer une partie de l'électricité des nuages qui enveloppent les montagnes. Le calme durera tant que la quantité d'électricité qui se disperse est petite; car le mouvement qu'elle occasionne dans l'air en sens contraire du premier, ne peut être que faible et imperceptible aux sens. Mais aussitôt que la dispersion augmente, le vent arrive. Une demi-heure environ après le coucher du soleil, on en ressent au rivage les premiers souffles. Ce n'est plus maintenant un vent d'aspiration comme celui du jour; c'est un vent de condensation. Le premier se terminait sur les montagnes : il avait là son origine, puisque c'est là que les nuages sont venus converger de tous points. Le second a là aussi son origine, puisque ces nuages se dispersent en suivant une direction diamétralement contraire.

Que le vent de terre soit dû à l'électricité comme l'autre, mais à l'électricité qui s'échappe, nous en avons une preuve irréfragable dans l'éclair qui commence çà et là sur les montagnes, en même temps que le mouvement des nuages, jusqu'à ce moment immobiles.

La température au coucher du soleil diminue sensiblement : les vapeurs se condensent plus abondamment; l'atmosphère devient meilleur conducteur, et l'électricité s'en échappe plus facilement. En effet, le tonnerre retentit déjà, les éclairs sillonnent les nuages, dont les lambeaux successivement détachés par l'électricité qui se disperse sont poussés vers le large.

Les phénomènes qui accompagnent le vent de terre sont tellement caractéristiques, qu'il nous semble impossible qu'après l'étude cons-

ciencieuse de ces phénomènes, on puisse encore continuer à regarder comme vraie l'ancienne théorie.

Nous allons faire ici quelques remarques qui ajouteront plus de poids à notre manière de voir. D'abord les voiles de vapeur qui se forment avant le vent du large se déclarent bien distinctement sur les montagnes avant que sur tout autre endroit de la surface terrestre ; la mer ne commence çà et là à se ternir et à être légèrement agitée qu'un peu après : le vent donc descend au lieu de monter. Les marins, d'ailleurs, qui se sont trouvés près des côtes avant la brise du large, savent que ce vent se ressent d'abord sur les hunes et ensuite sur le pont. Ce fait est en contradiction avec l'ancienne théorie ; car les couches inférieures étant plus chaudes, c'est cet air qui devrait d'abord se mettre en mouvement vers les terres, et ensuite l'air des couches supérieures.

En second lieu, comment supposer avec quelque apparence de vérité qu'il existe une différence sensible de température entre la terre et la mer au moment où se déclare le vent du large ? La brise marine commence à Java, à Nossi-Bé, à Saint-Denis, vers 10 heures du matin, c'est-à-dire à un instant du jour où le rayonnement solaire est insupportable. Il nous semble que si ce vent était le résultat des différences de température, il devrait se déclarer deux ou trois heures avant, parce qu'on peut plus raisonnablement présumer qu'entre 7 et 8 heures cette différence existe réellement.

Nous avons vu que la brise de terre est expliquée par la diminution de température de la terre, qu'on suppose être beaucoup plus grande que celle de la mer pendant tout le temps que la brise souffle. Or, il existe des parages où la brise de terre, bien loin d'être fraîche, est très-chaude. Voici ce que nous écrit des Indes M. Holstein, ancien capitaine de port à Pondichéry. « La brise de terre, dit-il, est toujours modérée (à Pondichéry) ; elle ne prend un peu de force quelquefois que pendant les mois indiqués (d'octobre à mars), époque à laquelle les vents de terre sont *très-brûlants* et incommodes. »

Et dans un autre endroit, il dit : « C'est presque toujours vers 8 heures du soir que la brise du large cesse et que commence le vent de terre *très-chaud*, mais qui devient très-froid la nuit. » Peut-on raisonnablement admettre que, tant que le vent reste *très-chaud*, l'air

de la mer ait une température encore plus élevée que celle de la terre ?

Encore une autre particularité. On sait que le temps qui s'écoule entre la disparition de la brise du large et l'apparition de la brise de terre est beaucoup moindre que le temps qui se passe entre la disparition de celle-ci et le commencement de l'autre ; on chercherait en vain une explication de ce fait dans l'ancienne théorie. Nous croyons pouvoir en rendre raison en cette manière.

Pour que l'air commence à se diriger vers les montagnes avec un mouvement bien prononcé, il faut que la différence entre l'électricité terrestre et atmosphérique soit assez sensible. Or, par le vent de la nuit, l'équilibre électrique s'étant établi, il faudra un certain temps avant que la tension électrique de l'atmosphère prédomine de nouveau ; ce qui ne pourra avoir lieu que longtemps après l'apparition du soleil sur l'horizon. Et comme d'ailleurs l'accroissement de tension se fait lentement, le vent commencera d'abord lentement aussi, et augmentera de la même manière (1). Voilà pourquoi il faut un certain temps avant que la brise devienne régulière. Cela a lieu dans tous les parages connus.

Il n'en est pas ainsi de la brise de terre ; soit dans les lieux où les deux vents sont très-réguliers pendant une grande partie de l'année et accompagnés des phénomènes dont nous avons parlé, soit dans les parages où ils sont modérés ou même faibles, la brise de terre commence peu de temps après la disparition de celle qui l'a précédée.

C'est que la dispersion de l'électricité commence aussitôt qu'une partie des vapeurs, par leur condensation, ont rendu l'air suffisamment conducteur; or, cela ayant lieu peu avant ou peu après le coucher du soleil, ce sera vers ce moment que la brise se déclarera. Dans les parages où elle est accompagnée régulièrement de l'éclair et du tonnerre, comme à Java et à Nossi-Bé, on voit que la brise est en proportion de l'intensité de ces manifestations électriques. Or, ces manifes-

(1) Dans quelques parages, le vent de terre continue encore pendant quelques heures de la matinée, c'est que l'électricité terrestre prédomine encore ; le vent de la nuit n'a pas suffi pour rétablir l'équilibre.

tations ne tardent pas à acquérir le plus grand éclat ; la brise devient donc régulière peu de temps après qu'on en a ressenti les premiers souffles, pour faiblir ensuite de la même manière que l'électricité elle-même.

Même dans les lieux où la brise est faible et n'est accompagnée ni de phénomènes électriques ni de nuages, elle commence presque tout de suite régulière sans augmentation d'intensité, tandis que la brise marine va en croissant insensiblement. Ces deux vents se présentent donc avec des caractères bien différents et qui se trouvent d'accord avec la théorie que nous avons développée.

Nous n'entendons pas pourtant affirmer qu'il n'y ait point d'exceptions. Les exceptions doivent nécessairement exister et être même fort nombreuses, car il y a des brises presque sur toutes les côtes des régions équatoriales. Cela est plns particuliérement vrai pour la brise de terre, si nous en croyons Lacoudraye. « La brise de terre, dit cet auteur, qui succède à la brise du large, est bien plns générale ; elle a lieu partout, aux petites îles comme aux grandes et aux continents : de sorte que lorsque nous avons dit qu'aux côtes occidentales d'Afrique, d'Amérique et de l'Indoustan, etc., les vents se portent constamment vers les terres, il faut toujours entendre qu'il y a la petite exception de la brise de terre qui pendant la nuit souffle et s'étend jusqu'à une lieue ou deux au large. (LACOUDRAYE, *Théorie des vents*, pages 94, 95.) »

Notre intention ne pouvait donc pas être de regarder les deux brises comme si elles étaient partout et toujours accompagnées des mêmes particularités, ou comme si elles se déclaraient ou cessaient toujours aux mêmes heures. Nous avons voulu seulement donner une théorie générale, sans avoir eu nullement la prétention d'avoir tout expliqué.

Mais qu'on se souvienne qu'il n'est pas possible d'expliquer toutes les particularités que ces vents peuvent présenter, car les données nous manquent complétement. Et quand même nous eussions entre les mains les détails les plus circonstanciés sur les heures de l'apparition et de la disparition de ces vents et sur les phénomènes qui les accompagnent, nous serions encore dans l'impossibilité de tenter un essai de telle nature, car il faudrait en même temps connaître par-

faitement la position et la configuration des côtes, connaître à quelle distance se trouvent les montagnes ou les îles et terres environnantes, ainsi que leur forme et leur élévation, connaissances que la science est encore bien loin de posséder, et qu'elle ne possédera peut-être jamais.

Dans tous les cas, qu'on veuille ne pas oublier que la théorie admise jusqu'à présent ne s'est nullement occupée des détails : elle n'a fait qu'affirmer en général que les deux brises sont l'effot des différences de température entre la terre et la mer, et cela sans aucune preuve positive. On doit donc nous savoir gré d'avoir essayé de donner une théorie de ces vents, basée sur les faits positifs, et non pas exiger l'explication de toutes les particularités qui pourraient les accompagner en tel ou tel autre point du globe.

Quelques mots maintenant sur les brises de nos régions tempérées.

Dans les climats tempérés, la brise du soir s'éteint plus ou moins vite, parce que la quantité d'électricité atmosphérique et terrestre ne peut être nullement comparée aux quantités mises en jeu dans les pays inter-tropicaux. Souvent, le plus souvent même, ces brises sont masquées par d'autres vents, qui soufflent en différentes directions; cela est vrai surtout pour la brise du large, qui se manifeste plus rarement que l'autre.

M. Julien, dans une récente croisière sur l'Adriatique, à bord de la frégate l'*Impétueuse,* dans les mois de mai, juin et juillet, dit avoir observé constamment sur cette mer les deux brises souffler régulières toutes les fois que le temps était beau : les nuages et l'orage se formaient également chaque jour sur les deux rivages opposés. Nous donnerons ici la très-courte description qu'il nous en fait dans les termes suivants :

« Ce n'est pas seulement dans les zones inter-tropicales que se manifeste la succession régulière des brises de terre et des brises du large. Pendant la saison chaude, elle se produit encore avec une parfaite régularité dans le voisinage des côtes de nos mers septentrionales. Dans une récente croisière, c'est effectivement ce qu'il nous a été permis d'observer sur les deux bords opposés et assez resserrés de l'Adriatique. Chaque jour de beau temps, la brise s'élevait au

large et venait à la fois, dans deux directions contraires, rafraîchir d'un côté les rivages de l'Istrie et de la Dalmatie, de l'autre ceux de la Romagne et de la Vénétie. Dès le soir, avec les derniers rayons du soleil s'évanouissaient aussi les derniers souffles du vent. L'horizon, du côté de la terre, se chargeait de sombres nuages; le tonnerre ne tardait pas à gronder, et chaque jour, à la même heure, l'orage éclatait avec une égale violence sur la cime lointaine des Alpes et sur les derniers contre-forts des Apennins.

» Comme dans l'Archipel Indien, comme dans les îles de l'Océanie, il se dissipait généralement en se rapprochant de la mer, il franchissait rarement la ligne du rivage. Quelques beaux nuages chassés des montagnes nous annonçaient l'approche de la brise. L'horizon se dégageait du côté de Venise, et pendant tout l'été, après les violents orages du soir, nous voyions le ciel s'illuminer et rappeler sur les flots bleus du golfe Adriatique les splendides nuits des zones tropicales. (JULIEN, *l'Atmosphère et la Mer*, page 68.) »

Le lecteur ne doit pas prendre à la lettre cette description; l'auteur n'a pas prétendu que ces orages aient été réellement journaliers ni même très-fréquents pendant les trois mois indiqués. Nous pensons que M. Julien a entendu dire qu'ils avaient lieu seulement aux jours restés beaux du matin au soir. De plus, quant à l'intensité, nous croyons qu'elle se bornait à quelques légers coups de tonnerre et à quelque peu de pluie. Nous avons pris la liberté d'interpréter ainsi la description du savant marin, car un phénomène, tel qu'il ressort de cette description prise à la lettre, d'après nos connaissances particulières, ne se manifeste dans aucune des côtes de la péninsule italique. La dernière année de mon séjour en Italie (1860), je l'ai passée sur les rivages de l'Adriatique, à Bari; j'ai constaté que la mer est rarement calme. J'ai souvent observé les deux brises; j'y ai vu souvent aussi des orages sur le soir, mais je ne les ai jamais vus se reproduire au-delà de quatre jours de suite et pendant deux fois seulement. C'étaient des orages périodiques, qui n'arrivèrent jamais à la même heure. Pourtant, c'est là que j'aurais dû voir les deux brises régulières mieux que sur tout autre point de la côte, car les deux rives de l'Adriatique ne sont nulle part si éloignées que l'est celle-ci du rivage opposé de la Dalmatie.

La cause de cette irrégularité des brises dans nos régions tempérées est le peu d'électricité et de conductibilité de l'air, et surtout la proximité des rives. Lorsque les rivages sont rapprochés, ils modifient réciproquement et neutralisent leurs effets. Cela a lieu, même dans les régions équatoriales. Dans les mers resserrées, les brises souffrent des modifications profondes; elles disparaissent même parfois. Dans tous les cas, elles sont faibles et ne présentent pas les caractères des autres brises régulières dont nous avons parlé dans ce chapitre, puisqu'elles arrivent avec un ciel sans nuages.

Les brises des montagnes, dans l'intérieur des terres, ont pour nous la même origine, et par conséquent la même explication. Elles ont peu d'intensité, même lorsqu'elles sont régulières, parce que l'excès de tension électrique des montagnes par rapport aux terres basses ne peut être que faible. Ces sortes de vents ne soufflent pas tous les jours et ne sont réguliers que lorsque le temps est beau. C'est que la période électrique subit, comme on le sait, des variations. Elle n'est régulière que dans les beaux jours; les brises, de même, ne se déclarent que dans ces circonstances. En confirmation de ce que nous venons d'énoncer, nous citerons divers passages de M. Lartigue.

Voici comment il s'exprime en parlant des brises observées par lui aux Pyrénées : « Les brises de jour et les brises de nuit se sont fait ressentir aux Eaux-Bonnes, pendant le mois de juillet 1842, toutes les fois que le temps était beau. Des brises ascendantes s'élevaient vers 9 heures du matin. La brise ascendante acquérait sa plus grande force de midi à 3 heures; immédiatement après, elle faiblissait graduellement, et cessait au coucher du soleil. Peu de temps après, des brises légères descendaient de toutes les gorges, de toutes les parties inclinées des montagnes, et elles se réunissaient à la brise plus fraiche qui s'écoulait du haut de la vallée vers le bas de la côte.... Les brises n'étaient plus régulières, lorsque le beau temps cessait.

» Les brises de jour et les brises de nuit sont plus régulières à Baréges qu'aux Eaux-Bonnes; pendant la durée du beau temps, la brise du jour s'élevait entre 8 et 9 heures du matin; elle atteignait son maximum de force entre midi et 3 heures, et cessait au coucher du soleil. Les brises de nuit se déclaraient ordinairement peu de temps après le coucher du soleil; elles fraîchissaient au lever de cet

astre pour cesser à 8 heures du matin... Lorsque les vents supérieurs étaient violents ou le temps mauvais, les brises de jour, de même que celles de nuit, étaient interrompues.

« Lorsque le temps est beau, les brises de jour et les brises de nuit s'établissent à Bagnères-de-Bigorre, situé au pied des Pyrénées; .... après le coucher du soleil, les brises descendent à Bagnères de toutes les vallées environnantes.

» Dans la vallée de Campan, durant le beau temps, les brises sont bien réglées : elles s'élèvent ou elles cessent aux mêmes heures que dans les autres parties des Pyrénées. La brise de nuit, qui vient à peu près du S., se distingue facilement des vents de cette direction et que j'ai appelés *vents tropicaux*, car ceux-ci sont toujours accompagnés de chaleur et souvent d'orages, tandis que la brise de nuit est un peu froide et toujours accompagnée de beau temps. (Lartigue, *Expos. du système des vents*, p. 74.) »

Nous avons déjà fait voir (Liv. I, chap. VIII), que le plus grand nombre des particularités qui accompagnent les brises des montagnes ne peuvent avoir une explication satisfaisante dans les différences de température entre les sommets des montagnes et la plaine. Ajoutons ici une autre observation. C'est que ces vents n'ont pas lieu lorsque la température dans la plaine s'élève plus qu'à l'ordinaire. Ce fait, observé déjà pour la première fois par Fournet, a été vérifié aussi par M. Lartigue, dans la vallée de Campan. « Lorsque la température, dit-il, était très-élevée dans les montagnes et sur les terres basses qui en sont voisines, les brises de jour devenaient irrégulières, quelquefois même ne se manifestaient pas; mais il arrivait souvent, dans ce dernier cas, qu'un orage éclatait dans l'après-midi ou dans la soirée. *(Ibid.)* »

Or, il me semble que lorsque la température s'élève dans les terres basses, la brise ascendante, au lieu d'être irrégulière ou de cesser, devrait avoir au contraire plus d'intensité; car cet air, étant plus chaud, doit, d'après la théorie, être plus léger, et monter par conséquent avec plus de force. S'il ne monte pas, la théorie se trouve en contradiction avec elle-même. Si, au contraire, on envisage les brises montagnardes de la même manière que les autres brises alternantes, ce fait trouve une explication plausible.

On sait que dans les beaux jours la brise n'est pas régulière dès son début. D'abord le mouvement a lieu dans différentes directions : presque chaque vallée a sa brise ; l'air se dirige dans chacune vers le sommet de la montagne qui domine la vallée, mais bientôt le mouvement change : la brise de la principale vallée prend de l'intensité et entraine les brises latérales. Dans les jours où la chaleur est plus forte, la brise principale a moins d'intensité et n'arrive pas à dominer et à entraîner les brises des autres vallées. C'est que, dans les jours ordinaires, la différence de tension électrique entre le sommet principal et les autres sommets des montagnes est plus sensible que dans les autres jours; car lorsque la chaleur augmente plus qu'à l'ordinaire, la quantité d'électricité doit augmenter aussi sur la surface terrestre, et rendre les différences des tensions entre les divers sommets moins sensibles. La brise aura naturellement dans ces jours moins de régularité, c'est-à-dire l'air sera dirigé non pas vers un seul sommet, mais vers deux ou vers plusieurs, selon leur élévation, leur disposition, et aussi selon la disposition et la configuration des vallées.

Si maintenant l'air reste toute la journée au-dessus des vallées et des terres basses assez sec pour empêcher la dispersion de l'électricité, celle-ci pourra acquérir sur les sommets des montagnes une tension extraordinaire. L'air sera agité comme les autres jours ; il sera, comme les autres jours, mis en mouvement vers ces sommets, mais rien ne trahira ce mouvement, car le mouvement de l'air ne se révèle à l'observateur que par les vapeurs visibles, contenues dans l'atmosphère et qui n'existent pas maintenant du côté des vallées. C'est précisément dans les jours de grandes chaleurs que ces conditions peuvent se réaliser. Voilà comment on peut expliquer en pareils jours l'absence de la brise ascendante.

Mais, vers le soir, lorsque la température s'est suffisamment abaissée pour déterminer la condensation d'une partie des vapeurs contenues dans l'air et le rendre un peu conducteur, l'électricité commencera à s'échapper et donnera lieu à la brise descendante plus ou moins forte et plus ou moins irrégulière. Le temps pourra se conserver beau, si l'air tout autour des montagnes contenait peu de vapeurs, mais s'il en contenait beaucoup, ces vapeurs vers le soir se

condenseront sur les montagnes et l'orage pourra éclater de la même manière que dans la brise du soir des régions situées près de la mer. Les brises alternantes ont donc toutes la même origine, et ont par conséquent toutes la même explication, quel que soit l'endroit où elles se déclarent, quelles que soient les conditions et les phénomènes qui les accompagnent.

---

# CHAPITRE V.

## FORMATION DES ORAGES.

Au chapitre III du livre précédent, nous avons très au long parlé des vents des orages et de quelques phénomènes qui les précèdent ou qui les accompagnent. Il nous reste à parler ici des conditions nécessaires pour la formation de ces météores et à expliquer d'autres phénomènes dont nous n'avons encore rien dit.

Les orages sont très-fréquents entre les tropiques. Nous avons déjà vu que dans un très-grand nombre de pays, il y en a tous les jours pendant six mois de l'année; ce sont les pays montagneux, près de la mer ou plus ou moins rapprochés d'autres terres ou îles élevées.

Il existe un certain rapport entre le nombre des orages et les latitudes : le nombre en diminue selon que nous approchons des pôles. « Sur la côte occidentale d'Europe et en Allemagne, dit Kaemtz, nous trouvons environ 20 orages par an ; à Saint-Pétersbourg et à Moscou, 17 en moyenne ; à Kasan, 9 ; à Ircoutzk, 8 environ ; et à Nertchinsk, 2. »

Et après avoir donné le nombre des orages en Scandinavie, qui est de 10 par an, il ajoute : « Si le nombre des orages est déjà petit en Scandinavie comparativement à l'Allemagne et à la France, on les voit encore diminuer à mesure qu'on s'avance vers le Nord, où la quantité de vapeurs qui remplit l'atmosphère devient plus petite. Ainsi, pendant un séjour de 6 ans en Groënland par 70° de latitude, Gisecke n'a entendu qu'une seule fois le tonnerre, et tous les voyageurs sont d'accord sur ce point. (KAEMTZ, *cours complet de météor.*, p. 334, etc.) » Il faut pourtant ajouter qu'à pareille latitude ils sont plus nombreux dans les pays de montagnes, même dans nos contrées.

Le même auteur affirme que trois conditions sont nécessaires pour la formation d'un orage. Ces conditions sont un grand calme de l'atmosphère, un sol plus ou moins humide et un temps serein.

Nous avons déjà vu que le calme, en effet, est une condition indispensable, et nous en dirons ici la raison; mais nous ne sommes pas du même avis sur les deux autres conditions. Nous ne pensons pas non plus que le petit nombre d'orages des hautes latitudes soit dû au peu de vapeurs que l'air contient naturellement.

D'abord quant aux vapeurs, il est bien vrai qu'elles sont nécessaires pour que l'orage se forme, mais elles n'en sont pas la cause. Pour que l'orage ait lieu, il faut, sans doute, qu'une plus ou moins grande quantité de vapeurs ait été transportée vers un point du ciel ; mais il n'est pas nécessaire de supposer que le pays en contienne naturellement une grande quantité.

Relativement à l'humidité du sol, je dirai qu'une certaine humidité du sol ne s'oppose pas à la formation d'un orage, mais si le sol est très-humide, je doute que l'orage puisse se former. J'ai vu plusieurs fois des orages prendre naissance sur une montagne de marbre presque entièrement aride à son sommet : c'est une montagne élevée sur la chaîne des Apennins, qui sépare Masse-Carrare de Reggio de Modène. Soit à Reggio, soit à Modène, toutes les fois qu'on voit des orages se former sur le sommet de cette montagne, on a un signe certain que le mauvais temps arrive.

Quant au temps serein, il est hors de doute qu'on ne peut pas même soupçonner qu'un orage se forme tant que le ciel conserve sa sérénité. Tous les observateurs attentifs ont pu, à l'occasion de grands orages, remarquer que le ciel devient grisâtre ; tout le monde sait que pendant l'été cet état du ciel occasionne une sensation de lourdeur et un malaise plus ou moins prononcé. Ce sont là les premiers indices lointains d'un orage. Avant que ces signes se déclarent, les variations barométriques elles-mêmes sont généralement si peu sensibles que le météorologiste, non seulement ne sera pas conduit à pronostiquer un orage, mais pas même à le soupçonner. Et plus ou moins longtemps avant que l'orage éclate, des nuages se sont formés déjà dans le ciel. Je ne vois donc pas comment la sérénité du ciel peut être regardée comme une condition indispensable à la formation

de l'orage lui-même. Je le comprends d'autant moins qu'un orage peut se déchaîner sur un pays après la chute de la pluie.

Pour ce qui regarde le calme, Kaemtz ajoute que ce phénomène ne s'étend pas jusqu'aux limites extrêmes de l'atmosphère, parce que le baromètre baisse lentement pendant un ou deux jours, preuve, dit-il, que de l'air s'écoule de tous côtés; mais Kaemtz était-il bien sûr de ce qu'il a avancé? L'abaissement du baromètre prouve-t-il vraiment que l'air s'écoule? Affirmer que toutes les fois que le baromètre baisse, il existe un écoulement d'air des couches supérieures, c'est vouloir faire dire au baromètre ce qu'il n'a pas dit. Le savant météorologiste supposait que la température des couches supérieures dans les jours d'orage est beaucoup plus basse que celle des couches inférieures; voilà pourquoi il a pensé que l'air s'écoule. Il ajoute que des observations thermométriques directes ont montré que la température décroît très-rapidement dans les jours d'orage. Sans doute que la température baisse dans les couches supérieures aux jours orageux, mais c'est après, non avant l'orage. Ce serait prendre les phénomènes à rebours que d'attribuer l'orage à cet abaissement de température qui n'en est que l'effet.

Pour que l'écoulement prétendu de l'air ait lieu pendant les deux ou trois jours qui précèdent l'orage, il faudrait que la diminution de température des couches supérieures commençât dès le premier jour : or, aucun fait positif ne nous autorise à l'admettre. Une pareille diminution serait sans explication, surtout si l'on suppose le ciel serein, comme Kaemtz l'a fait. La diminution de calorique n'a lieu qu'après l'orage et jamais avant; elle n'est donc pas la cause de l'orage, mais elle est occasionnée par l'orage lui-même.

En outre, si l'écoulement prétendu de l'air avait lieu, les couches inférieures de l'atmosphère cesseraient d'être calmes, le calme étant incompatible avec un courant d'air. Ceci nous paraît un argumont péremptoire. Nous avons d'ailleurs fait voir plus haut (Liv. I, chap. VII) que non seulement rien ne nous autorise à regarder les dépressions barométriques comme le résultat d'un écoulement de l'air dans l'endroit où les dépressions ont lieu, mais que cette manière de voir nous conduirait à des conséquences absurdes. L'abaissement du baromètre doit donc avoir une autre interprétation.

Ajoutons encore que le calme doit exister seulement dans les couches inférieures : l'orage, comme nous l'avons déjà dit ailleurs, n'a pas lieu si l'air de la surface terrestre a été agité ; mais il n'est pas nécessaire que le calme règne dans toute l'atmosphère. Au contraire, on remarque souvent avant l'orage un mouvement plus ou moins prononcé des vapeurs sous forme de cirrus ou de légers cumulus vers un point du ciel.

Nous ne reviendrons pas ici sur la cause du mouvement des nuages vers un point déterminé ; nous l'avons déjà indiquée au premier chapitre de ce livre. Les nuages s'accumulent en général sur les sommets des montagnes, et c'est de là qu'ils se déchaînent sur les contrées qu'ils parcourent.

Dans les pays de plaine, comme sont en Italie les terres de la Pouille et plus encore le pays de Lecce, les orages sont plus rares, mais ils sont en proportion plus terribles ; lorsqu'ils se déchaînent pendant l'été, ils sont accompagnés parfois de grêles d'une grande dimension, que les habitants appellent *lapidi,* pierres.

Dans les pays de plaine éloignés des montagnes, la première origine du mouvement n'est pas identique au mouvement qui a lieu vers les montagnes. Là, les vapeurs s'élèvent et se dispersent dans l'atmosphère sans prendre d'abord aucune direction déterminée. Mais cet état de choses ne peut durer toujours. Les conditions du sol n'étant pas identiques, les divers points de l'atmosphère finiront par se trouver différemment chargés de vapeurs. Si plusieurs endroits atteignent en même temps le point de saturation, il se formera en chacun de ces endroits des cirrus ou des nuages légers d'une forme quelconque. Ces nuages arrêteront l'électricité des rayons lumineux, leur tension électrique augmentera plus rapidement que sur tout autre endroit du ciel : les vapeurs de tout le reste de l'atmosphère commenceront à se diriger vers ces divers points, et pourront finir par couvrir le ciel plus ou moins uniformément, par donner de la pluie et par occasionner aussi un orage.

Mais si la saturation se fait d'abord sur un endroit du ciel seulement, les vapeurs se porteront vers cet endroit ; elles y augmenteront la tension électrique, et l'orage aura plus de chance de se former.

On a dit que les nuages orageux peuvent se dissoudre quelquefois par l'action de courants chauds qui s'élèvent vers eux. Ici encore, on a confondu l'effet avec la cause. Ce n'est pas le courant chaud qui dissipe l'orage, mais le courant a lieu parce que l'orage se dissipe. Ceci pourra paraître étrange aux savants qui sont habitués à regarder autrement les phénomènes, mais il n'est pas moins vrai pour cela. S'ils voulaient se donner la peine d'étudier la direction de ce courant chaud, ils verraient qu'il ne monte pas, mais qu'il descend, puisqu'il n'est pas dirigé vers le nimbus : il vient au contraire de la région que celui-ci occupe dans le ciel.

La théorie électrique nous rend compte de ce phénomène sans qu'elle soit forcée de recourir à aucune supposition. Elle nous rendra compte du renversement du vent des couches inférieures de l'atmosphère, du calme qui l'a précédé, et nous expliquera pourquoi l'orage se dissipe, si le calme cesse avant que le nimbus se soit entièrement formé. Voici comment la théorie rend compte de ces phénomènes :

Le vent supérieur, avons-nous dit (Liv. précédent, chap. III), est un vent d'aspiration produit par un excès de tension électrique d'un endroit du ciel sur le reste de l'atmosphère. Or, pour que cette tension électrique puisse devenir assez forte pour faire naître un orage, il est nécessaire que les couches d'air de cet endroit ne se mêlent pas aux couches en contact avec le sol. Il est évident que si l'agitation se déclare à la surface terrestre avant que le nimbus se soit formé, c'est-à-dire avant qu'une grande accumulation d'électricité se soit faite sur lui, l'orage n'aura pas lieu. Le courant chaud n'est autre chose que l'air mis en mouvement par l'électricité qui s'échappe du nimbus avant que celui-ci ait atteint une forte tension. Ce phénomène aura lieu lorsque l'air sera plus ou moins conducteur et la tension électrique du sol plus ou moins faible ; car nous avons fait voir ailleurs que la charge électrique et la tension qu'un corps peut prendre sont d'autant plus fortes que le milieu est moins conducteur et plus électrisé. Dans ces conditions atmosphériques donc, l'orage n'est pas possible ; il se dissipera en produisant un courant chaud, et non pas par l'action d'un courant chaud, comme on l'a prétendu.

Cela est si vrai, que lorsque le nimbus donne de la pluie, ce courant chaud devient froid sans changer de direction. C'est que l'élec-

tricité, dans ce cas, bien qu'elle n'ait pu atteindre le degré de force nécessaire pour produire l'orage, a cependant une tension capable de comprimer plus ou moins les vapeurs qu'elle trouve le long de sa route, et surtout pour comprimer le nuage orageux lui-même, et par là occasionner un refroidissement dans l'air.

En effet, lorsque l'électricité s'échappe avec une certaine force d'un nuage, elle exerce une réaction violente qui force une partie des vapeurs à passer brusquement à l'état liquide ; mais comme l'électricité a produit en même temps une condensation de l'air dans lequel les vapeurs étaient répandues, cet air, pour reprendre son volume primitif, se précipite plus ou moins brusquement dans le vide occasionné par l'écoulement instantané de l'électricité, et se dilate, par conséquent, en proportion de la condensation elle-même. Si le jaillissement de l'électricité était très-considérable, comme il arrive dans les orages, il en résulterait un refroidissement instantané plus ou moins sensible ; mais dans notre cas, le refroidissement ne devient sensible dans les couches inférieures de l'atmosphère qu'au bout d'un certain temps. Voilà pourquoi le courant, chaud d'abord, devient froid ensuite sans changer de direction.

En parlant des grands orages des régions équatoriales, nous avons vu qu'ils arrivent toujours avec précipitation ; l'horizon se couvre de nuages en quelques instants. Le même phénomène a lieu aussi dans les orages de nos climats : l'orage éclate tout à coup avec plus ou moins de violence. Tant qu'il se forme, les nuages marchent vers le foyer de la tempête en général plutôt avec lenteur ; mais lorsque l'orage se déclare, le nimbus lui-même se met en mouvement avec précipitation. Ce phénomène est l'effet de l'électricité qui, maintenant ayant atteint son maximum de tension, s'échappe du nimbus et le fait mouvoir ; le mouvement du nimbus, qu'il me soit permis de me servir d'une comparaison, est semblable à celui d'une fusée, avec cette différence cependant, que dans la fusée la poudre produit le mouvement de recul d'un côté seulement, tandis que dans la nue orageuse l'électricité s'échappe de plusieurs endroits à la fois. Le mouvement de la nue est dû à la résultante de toutes ces actions.

La direction que prend le nimbus peut être plus ou moins contraire à la direction suivie par les nuages secondaires ou voiles de

vapeur qui l'ont formé, comme elle peut aussi ne pas différer. Cela dépend de l'intensité avec laquelle l'électricité s'échappe d'un côté ou de l'autre ; mais, quelle que soit la direction suivie par le météore, le vent s'échappe réellement de différents endroits. Le lecteur n'aura pas oublié les faits très-nombreux observés par le P. Beccaria et par Codwalder-Culden. (Livre III, chapitre III.) Ce dernier, après avoir assuré à Franklin que le phénomène arrive fréquemment, ajoutait : « Expliquer ce qui empêche le vent de sortir avec une force égale de tous les côtés (du nuage), c'est un problème qui ne me paraît pas facile, et que je n'entreprendrai pas de résoudre. » Le lecteur comprend maintenant de lui-même ce problème, devenu pour lui un phénomène des plus simples.

Je n'ai pas la prétention d'épuiser la matière ; il serait impossible d'indiquer toutes les particularités qui peuvent précéder la formation d'un orage. Je n'ai pas intention non plus d'indiquer les cas où il pourrait y avoir chance de connaître, quelque temps à l'avance, l'arrivée d'un orage, car je ne crois pas qu'il existe réellement, d'après les connaissances que nous possédons, des cas où cela soit possible, à moins qu'il ne s'agisse de quelque orage extraordinaire, comme sont les ouragans d'une grande violence, lesquels sont prédits, ou je dirai plutôt pronostiqués, par le baromètre. Lorsque je dis quelque temps à l'avance, il ne faut point prendre cette expression pour des jours ; celui qui, dans l'état actuel de la science, prédirait un orage ordinaire ou du mauvais temps vingt-quatre heures à l'avance, donnerait à comprendre qu'il n'a aucune connaissance des mouvements atmosphériques ; j'entends donc seulement parler de quelques heures, du matin au soir, par exemple.

Cependant, je crois pouvoir affirmer qu'on peut hasarder une prédiction dans le cas suivant : c'est lorsque l'atmosphère paraît depuis quelque temps lourde, comme si elle pesait sur vous de tout son poids, et qu'en même temps la chaleur est étouffante, et que le calme le plus absolu règne à la surface de la terre. Dans ce seul cas, dis-je, votre prédiction pourrait tomber juste ; et encore j'ajouterai que si le ciel ne présente pas des nuages ou des voiles de vapeur marchant dans une direction déterminée, vous risquez de vous tromper. J'ai

vu une fois ces trois conditions se réaliser huit à neuf jours durant, sans que l'orage s'ensuivit (1).

Je ne dirai rien sur les pronostics des orages ou du mauvais temps, qui ne sont possibles qu'à l'aide du télégraphe, mais j'indiquerai le résultat de mes expériences sur la presque certitude qu'on a de deviner la disparition d'un orage qui menace de fondre sur un pays d'un instant à l'autre.

Lorsque vous verrez l'atmosphère chargée de nuages, et ces nuages marcher n'importe en quel sens, même dans la direction du vent qui est regardé dans la contrée comme le vent de la pluie, si dans les couches inférieures de l'atmosphère il existe un autre vent en direction contraire à ce dernier, l'orage n'aura pas lieu. Il peut même se faire que le tonnerre gronde au loin, que les premières gouttes de pluie tombent sur vous, et que le ciel, couvert de nuages plus ou moins ardoisés, menace d'ouvrir sur le pays entier ses cataractes; si le vent, dis-je, des couches inférieures est fort, ne craignez pas : vous n'aurez pas d'orage. Quelques instants après que le vent de surface a cessé, vous aurez une pluie qui ne durera pas et qui ne correspondra pas non plus à la quantité que le ciel promettait vouloir vous donner.

Cela provient de ce que le vent de surface (qui est occasionné par l'électricité qui s'écoule), s'étant déclaré avant qu'une grande accumulation de fluide se soit faite sur les nuages, la tension électrique de ceux-ci ne pourra pas atteindre les proportions nécessaires pour donner lieu à un orage; car il y a tout à la fois écoulement d'électricité et mélange des couches d'air supérieures avec les couches inférieures; ce qui non seulement empêche l'augmentatiou de tension des nuages, mais encore ramènera l'équilibre électrique entre l'atmosphère et le sol. Nous nous réservons de traiter ailleurs la question de la formation de la pluie.

C'est ici le lieu de donner quelques mots d'explication du vent Joran, que nous avons vu se déchaîner soudainement sur le lac de Neufchâtel. Ce vent est l'effet d'une tension électrique des montagnes

(1) Cela arrivait vers le milieu du mois d'août 1859, dans les Calabres, à Rossano, où je me trouvais alors par hasard. J'aurai occasion de donner ailleurs quelques détails sur la manière dont ces phénomènes disparurent.

du Jura, qui dominent ce lac. Lorsque l'électricité a atteint son maximum de tension, elle s'échappe tout à coup, chassant devant elle l'air de haut en bas avec plus ou moins de force. Ce phénomène, en effet, a lieu pendant l'été, à la suite de plusieurs journées assez chaudes et vers le soir. Nous avons déjà fait remarquer que ce vent est chaud, et, par conséquent, qu'il ne peut avoir une explication satisfaisante par l'ancienne théorie; car, selon cette théorie, l'air chaud de ce vent devrait ne pas descendre, mais monter. Les autres vents locaux, qui se déclarent dans les mêmes conditions, ont des explications analogues.

Avant de clore ce chapitre, nous rapporterons un fait d'électricité prodigieuse observé récemment sur mer à chaque souffle d'un vent d'orage. C'est au chapitre 1 du livre précédent que ce fait aurait dû être consigné; mais lorsqu'il est arrivé à notre connaissance, ce chapitre était déjà imprimé. L'observation est de M. Perrier, lieutenant du paquebot *Impératrice*, nous ignorons sous quelle latitude. Voici comment il s'exprime dans son rapport au ministère de la marine, que nous trouvons dans la livraison des *Mondes* du 7 avril dernier (1870) :

« Après quatre jours de grands vents de N-O., le vent passe au N. et au N-E. Dans la nuit du 23 décembre (baromètre 751, thermomètre 9°5), des grains d'une grande violence se sont fait sentir. Des éclairs vifs et fréquents éclatent à chaque instant sur tous les points de l'horizon, sans qu'on entende aucun coup de tonnerre; quelques-uns de ces grains sont accompagnés d'une grêle abondante, et, quand ils passent sur le navire, ils produisent le phénomène connu sous le nom de *feu Saint-Elme*. Des aigrettes lumineuses, de couleur bleue et d'une hauteur d'un pied et demi environ, se montrent au-dessus des pointes des paratonnerres à chaque mât; la mâture et le gréement paraissent phosphorescents, et les extrémités des vagues offrent aussi des aigrettes, mais moins belles que celles des mâts. Ces lueurs se montrent aussitôt que le grain atteint le navire; *très-brillantes quand le vent souffle avec toute sa violence, elles diminuent d'éclat quand il mollit, et disparaissent avec le grain.* Les parties seules de la mâture et du gréement qui reçoivent directement l'action du grain offrent cette apparence lumineuse; le phé-

nomène ne se produit pas sur les parties abritées, si peu qu'elles le soient, et ne descend pas au-dessous des vergues de hune, à trente mètres environ au-dessus du niveau de la mer. (MOIGNO, *Mondes*, tome 22, page 606.) »

Ce récit n'a pas besoin de commentaire. Le vent dont il y est parlé est un vent d'impulsion ; il vient du nuage qui donne le grain, et il apporte des quantités étonnantes d'électricité à chaque souffle, et en proportion de la violence du souffle lui-même. Si le lecteur a suivi attentivement ce que nous avons dit au chapitre III du livre précédent, il conviendra avec nous que ces phénomènes ne peuvent avoir une explication plausible avec les anciennes théories. Il ne sera donc pas tenté de dire que l'électricité est poussée par le vent vers la terre, mais il verra dans le vent un effet immédiat de l'électricité ellemême.

Des faits de cette nature ne doivent pas être rares sur mer ; les marins ne devraient pas se contenter de répondre en quelques mots au questionnaire de leur journal, mais, dans l'intérêt de la science, ils devraient se donner la peine de décrire, d'une manière détaillée, tous les phénomènes extraordinaires dont ils sont témoins, particulièrement les phénomènes électriques et lumineux. D'après des relations particulières qui nous ont été faites par des marins expérimentés, les phénomènes électriques sur mer sont fréquents, surtout dans les régions équatoriales, et présentent des particularités qui intéresseraient au plus haut point le météorologiste.

Citons encore un autre fait observé en 1869 par le capitaine Bernard, commandant le brick *Méditerranée*, et décrit par lui dans son rapport au ministère de la marine : « Dans la journée du 27 août, dit-il, étant entre Ivris et les Colombrettes (golfe de Valence), après deux jours de calme et temps orageux, de petits nuages noirs se dessinent sur le fond noir du temps couvert d'orage, puis se déchirent, se dispersent dans tous les sens, puis se rassemblent avec une vitesse prodigieuse pour se séparer encore absolument dans le sens des marionnettes blanches des belles nuits d'été dans le Nord de Terre-Neuve. Ces marionnettes noires, *remplies d'électricité*, en passant au-dessus de la mâture, ont donné des rafales capables de démâter un navire, si on n'amène tout ; mais ces rafales

avaient un bien grand inconvénient : elles étaient tellement chaudes qu'elles étaient brûlantes, au point que j'ai eu des craintes que le feu ne se mît à bord, en prenant dans les voiles et dans la cuisine. Nous avons tous souffert des yeux, ne pouvant les ouvrir par ce feu. Cela a bien duré vingt minutes, puis calme. »

Serait-il possible de se rendre un compte quelconque de ce vent et des phénomènes qui l'accompagnent, si l'on ne veut qu'y voir un simple courant d'air provenant des causes ordinaires auxquelles on a attribué jusqu'à présent les agitations de l'atmosphère? D'abord, cette température brûlante n'est nullement expliquée ; car rien, absolument rien, ne nous autorise à supposer que par ces causes la température peut dans l'atmosphère s'élever considérablement plus qu'au-dessus du sol. En outre, ce vent est un vent de condensation ou d'impulsion ; l'air donc, contrairement à la théorie admise jusqu'ici, descend au lieu de s'élever ; il est violemment chassé d'un endroit brûlant vers un endroit froid. En d'autres termes, une masse d'air spécifiquement plus léger descend avec véhémence vers un air spécifiquement plus lourd! La violence de ce vent, sa température excessive, sa marche à rebours des lois de la pesanteur, nous obligent donc à admettre dans cette masse d'air chaud une force d'impulsion étrangère à la température. On ne pourrait donc pas affirmer ici que l'électricité dont parle M. Bernard ait été apportée vers la terre par le vent, puisque le vent est inexplicable si l'on ne lui donne pas une origine électrique.

---

## CHAPITRE VI.

### CONTRE-COURANTS.

Le vent de condensation ou le second vent qui se déclare à l'instant de la formation de l'orage n'est pas un phénomène particulier des régions équatoriales : c'est un fait constant. Nous avons déjà dit que tout courant de surface bien défini doit nécessairement déterminer un courant de retour ou un contre-courant supérieur. Dans les orages, ce courant de retour ne commence à être sensible à l'observateur que lorsque le nimbus a acquis une certaine tension électrique ; avant ce moment, il existe un vent léger qui n'arrive pas à la surface ; le contre-courant règne au-dessus de celui-ci, et il est ordinairement impossible de le constater, à cause des nuages du courant inférieur.

Dans les régions de l'alizé, le courant inférieur, qui est l'alizé lui-même, doit avoir son contre-courant supérieur. Les orages sont des phénomènes passagers, les alizés des phénomènes permanents ; il doit donc exister constamment au-dessus d'eux un courant de retour. Nous allons le voir par les faits.

Tous les voyageurs ont rencontré sur le pic de Ténériffe des vents d'O., tandis qu'au niveau de la mer régnait l'alizé N-E. Partout où domine l'alizé, comme nous l'avons dit, l'air est pur, mais toutes les fois qu'il y a des nuages ou des voiles de vapeur, on les voit marcher en sens contraire de ce vent.

Georges Glafs, habile marin qui pendant plusieurs années a étudié les vents des Canaries, dit : « Un violent vent d'O. souffle constamment sur les parties les plus élevées de ces îles pendant que les vents du N-E. règnent sur la surface de la mer. Il doit en être ainsi, je pense, dans toutes les parties du globe où l'on ressent les vents alizés. Je ne me hasarderai pas à expliquer ce phénomène, mais il existe

certainement au sommet du pic de Ténériffe et sur les montagnes de quelques autres de ces îles. (Glafs, *History of the Canary Island*, p. 251.) »

En 1835, le 25 février, le volcan Cosiguinga, sur le lac Nicaragua, dans le Guatemale, lançait en l'air d'immenses quantités de cendres, qui obscurcirent le ciel pendant cinq jours continuels. Une partie de ces cendres tomba à Kingston, dans la Jamaïque, situé au N-E. du Guatemale ; elles ont donc été transportées par un vent contraire à l'alizé.

Les habitants de la Barbade, une des petites Antilles, la nuit du 30 avril 1812, entendirent des détonations semblables à des coups de canons de fort calibre ; l'illusion fut telle, que la garnison du fort Sainte-Anne prit les armes. Le même phénomène continua le jour suivant. Lorsque le soleil parut sur l'horizon au 1er mai, la partie Est était encore claire, mais le reste du ciel était couvert d'une couche de nuages noirs. L'obscurité augmenta très-rapidement. En peu de temps, elle arriva à tel point que dans l'intérieur des maisons on ne pouvait plus distinguer l'emplacement des fenêtres. Cette obscurité était produite par une excessive quantité de cendres qui venaient du volcan Morne-Garou, qui se trouve dans l'île Saint-Vincent, à 100 milles environ à l'Ouest de la Barbade. Or, à cette époque de l'année, l'alizé règne sur cette étendue de mer : ce vent a une direction contraire à la marche suivie par les cendres ; elles ont été donc transportées par un vent supérieur.

Les journaux de bord qui ont servi à M. Maury pour la compilation de ses cartes ont constaté pour un nombre fort considérable de fois l'existence de ce courant supérieur. Les journaux rédigés pendant le voyage autour du monde des deux frégates la *Vénus* et la *Bonite*, font une mention toute spéciale de ces sortes de vents. Tous les marins d'ailleurs qui ont voyagé dans les régions inter-tropicales et qui nous ont laissé ou dans leurs livres ou dans les journaux de bord leurs observations, sont unanimes à en affirmer l'existence. Tous les météorologistes d'ailleurs, depuis Halley jusqu'à Maury, l'admettent sans contestation.

Ce vent ne se tient pas toujours confiné aux couches élevées de l'atmosphère, mais il arrive souvent à la surface terrestre et s'étend

plus ou moins au loin au-delà de la limite extérieure des alizés. Halley, le premier, l'a regardé comme étant l'alizé de retour supérieur ; en sorte que le vent du S-O. qui souffle en courant de surface au-delà de l'alizé N-E. serait, d'après lui, l'alizé S-E. qui est remonté d'abord au-dessus de l'alizé N-E. et qui est descendu ensuite à la surface de la terre à la limite de ce dernier. Le vent du N-O., de même, serait l'alizé S-E., remonté lui aussi au-dessus de l'alizé de l'hémisphère opposé et descendu ensuite à la limite extérieure de ce même alizé en soufflant en vent de surface. *(An Historial account ofthe Trade-Winds and mousoons observable in the seas between and neor the tropic, with an attempl to assing the phisical cause oft the said Wind. Trans. Phil.*, 1868, p. 132.)

C'est de cet auteur que M. Maury paraît avoir pris l'idée du croisement des alizés des deux hémisphères, car, comme on vient de le lire, Halley faisait aussi croiser les alizés. Cette idée n'est donc pas neuve, et dans tous les cas elle n'est pas heureuse, puisqu'on ne comprend pas comment deux courants se croiseraient sans se confondre ni troubler leur mouvement, et on ne comprend pas davantage pourquoi ils s'élèveraient d'abord et redescendraient ensuite.

Halley, de son côté, a affirmé le premier, sans cependant le prouver, qu'il doit exister une espèce de circulation continue, non seulement là, mais partout. Il disait vrai. Partout, en effet, où il existe un courant de surface bien défini ayant une certaine intensité, il doit se former un courant capable de rétablir l'équilibre dans l'atmosphère. Ce courant doit donc marcher en sens contraire. Mais Halley ne raisonnait pas ainsi, et son raisonnement n'avait pas l'appui des faits. Voici comment il s'exprime :

« Les vents de N-O. et de S-E., entre les tropiques, doivent être compensés par autant de vents de S-O. et de N-O., soufflant dans d'autres lieux, et généralement tous les vents, de quelques points qu'ils soufflent, doivent être compensés par des vents contraires soufflant quelqu'autre part, autrement il pourrait se produire quelque changement dans le mouvement de la terre autour de son axe. *(The cause of the general Trade-Wind. Trans. philosoph. 1735,* p. 58.) » La preuve, comme on le voit, n'est pas concluante, mais le fait, comme il a été déjà dit, est incontestable.

D'après nous, les contre-courants ou courants supérieurs des régions des alizés n'ont rien à faire avec l'alizé de l'hémisphère opposé, chaque alizé étant limité à la surface. Les vents du N-O. de l'hémisphère S. et ceux du S-O. de l'hémisphère N., soit qu'ils soufflent en contre-courant, soit qu'ils soufflent en courant de surface, sont des vents de condensation, et qui, par conséquent, diffèrent essentiellement de l'alizé, qui est un vent d'aspiration et qui produit des effets contraires. L'alizé laisse à l'air toute sa pureté, les courants contraires troublent plus ou moins l'atmosphère et peuvent donner de la pluie, lorsqu'ils descendent vers la surface terrestre. Nous sommes étonnés qu'on ait pu se méprendre au point de les confondre.

Selon notre manière de voir, les vents qui soufflent en direction plus ou moins opposée des alizés en courant supérieur ou en courant de surface, ce sont, comme nous l'avons déjà dit, des vents identiques à ceux qui se déclarent lorsque l'orage éclate. L'électricité étant toujours très-considérable sur la zone des nuages équatoriaux, une certaine quantité plus ou moins grande de cette électricité s'échappera continuellement à la partie supérieure de ces nuages, parce que l'air, étant là plus raréfié, lui permet de se disperser plus facilement que vers la surface terrestre. L'électricité s'échappe pour ainsi dire en gerbes, détachant des lambeaux de nuages qui s'élèvent d'abord et qui vont ensuite prendre un chemin opposé aux alizés au-dessus de ces vents, et ainsi s'établit une circulation continue.

S'il était possible, par des expériences directes, de constater ce qui se passe dans la zone des nuages équatoriaux, on trouverait sur toute son étendue que le vent vient vers cette zone et qu'il en sort à sa partie supérieure. Malheureusement, les expériences directes ne sont pas possibles, excepté pour les pays de montagnes, et encore l'observation ne peut être faite que jusqu'au sommet des montagnes, et il est par conséquent impossible de constater comment les choses se passent au-dessus du banc des nuages, qui dépassent généralement le sommet des montagnes elles-mêmes.

S'il nous était permis d'embrasser d'un seul regard toute l'épaisseur du nuage de la zone des calmes, nous verrions se produire sur lui les mêmes phénomènes qui se passent sur les conducteurs de la machine électrique, lorsqu'on leur approche des corps légers comme

des cendres, des flocons de soie ou de coton, etc. Ces corps sont d'abord vivement attirés et repoussés ensuite ; ils s'élèvent en décrivant une parabole plus ou moins prononcée, selon que le point du conducteur qu'ils ont touché est plus ou moins près du plan vertical du conducteur lui-même, et s'éloignent dans des directions différentes. De même, les nuages qui s'échappent de la zone des calmes doivent s'éloigner par des routes différentes plus ou moins obliques les unes aux autres. La figure qui va suivre fera plus facilement saisir la circulation de l'air telle que nous l'avons conçue et que les faits nous l'ont suggérée.

S, T (Fig. 10) représente la surface de la mer, et Z, O, N, E, la section de la zone des nuages équatoriaux : les flèches dirigées vers le nuage donnent la direction des alizés d'un hémisphère, de l'hémisphère N., par exemple, et les autres la direction du courant de retour. L'air arrivé aux nuages ne peut s'y arrêter, il s'y formerait une accumulation qui serait contraire aux lois les mieux établies de la science. Cet air continue son mouvement, s'élevant au-dessus de la zone, parce que l'excès de la tension électrique de la zone l'y oblige ; à une distance de la surface supérieure de celle-ci, l'air se déverse et donne ainsi lieu au contre-courant : il en est de même pour l'autre hémisphère.

Or, les deux directions ainsi que leur intensité respective étant l'effet de la tension électrique, et cette tension n'étant pas toujours égale, les limites des deux courants, soit quant à la hauteur, soit quant à l'étendue, doivent nécessairement varier. Il arrivera donc, comme nous l'avons déjà fait ressortir dans un autre chapitre pour l'alizé, que le contre-courant atteindra la terre plus ou moins près de la limite extérieure de l'alizé, et pourra aussi, selon les circonstances, atteindre l'alizé lui-même et le faire disparaître, ce qui arrivera lorsque l'électricité s'échappe avec une intensité plus grande qu'à l'ordinaire. Il est d'après cela aisé de comprendre comment sur un même point de la mer on peut trouver ou l'alizé ou le calme, ou un vent du S-O. Voilà donc, sans supposer aucune espèce de croisement de courants, expliqués tout à la fois la direction, l'étendue et l'intensité des alizés, ainsi que les vents de direction contraire, tant sur les hautes régions de l'atmosphère qu'à la surface terrestre, et

l'existence, comme la disparition des calmes du Cancer et du Capricorne. Et tout cela, sans avoir nullement violenté les faits, sans avoir eu besoin de faire des suppositions et sans avoir torturé l'esprit du lecteur.

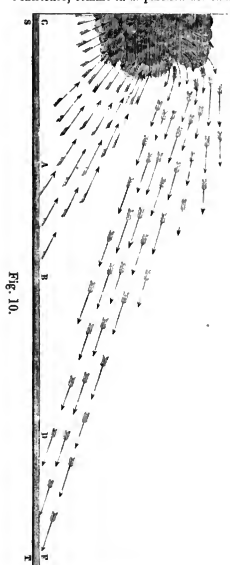


Fig. 10.

Si cette manière d'expliquer les vents rectilignes est vraie, comme nous en sommes intimement convaincu, il n'y aurait aucun vent horizontal : tous seraient obliques à la surface terrestre, quelle que soit leur direction. Je ne parle pas seulement des vents des régions équatoriales, mais de tout autre point de la terre. J'engage les marins à faire attention au premier instant où ils entrent dans l'alizé, lorsqu'ils marchent vers l'équateur, surtout dans les directions entre le Sud-Est et le Sud-Ouest pour l'émisphère Sud, entre le Nord-Est et le Nord-Ouest pour l'hémisphère Nord. S'ils sont attentifs à saisir ce moment, ils verront les hautes voiles

rester à plat, tandis que les basses voiles sont déjà tendues. Les vents qui ont une direction opposée au-delà des alizés, à l'instant où on les rencontre en venant de l'équateur, doivent au contraire gonfler d'abord les voiles supérieures, les inférieures ensuite. De même dans les deux brises, celle du large se comporte comme l'alizé, celle de terre comme les vents de N-O. et de S-O.

Une manière fort simple de s'assurer de l'obliquité des vents de S-O. et de N-O. à la surface terrestre, et en général de tous les vents analogues à ceux-ci, serait de lancer en l'air de petites montgolfières, aussitôt après qu'on est sorti du vent, en marchant en direction contraire du vent lui-même. Ces montgolfières ne tarderaient pas à trouver le même vent dans les couches supérieures.

Il nous resterait maintenant à traiter la question des vents du désert; mais comme ces vents ne sont pour nous que la conséquence ou la suite d'un mouvement atmosphérique tourbillonnant, propre à ces contrées, il nous a paru plus rationnel d'en renvoyer la discussion au second volume.

FIN.

# NOTES



# NOTES

## NOTE A. *(Page 111.)*

### L'ÉTHER.

M. Grove affirme que l'éther est pour lui un être idéal, dont il croit pouvoir se passer pour l'interprétation de tous les phénomènes de la nature. Il substitue à l'éther « la matière grandement raréfiée qui remplit les espaces inter-planétaires, qui serait une expansion de toutes les atmosphères (des planètes) ou de quelques-unes, ou de leurs éléments les plus volatils, et fournirait ainsi la matière nécessaire à la transmission des modes de mouvement que nous désignons sous les noms de lumière, chaleur, etc. (*Corrélation des forces physiques*, p. 177.) » Plus loin il ajoute, qu'il considère cette matière « comme possédant les qualités de la matière ordinaire, ou, comme on l'appelle ordinairement, de la matière grossière, et particulièrement le poids (p. 179). »

M. Seguin, quoiqu'il partage sur ce dernier point l'opinion de M. Grove, croit nécessaire d'introduire quelques modifications dans la théorie. Il suppose lui aussi que les éléments servant de véhicule à la production des phénomènes sont pondérables, mais il les suppose infiniment petits et infiniment denses. (*Corrélation...*, *notes*, p. 282.) Il ajoute qu'il faut distinguer deux sortes d'éléments matériels, les uns enchaînés ou en repos relatif, ce sont, comme il les appelle, les *m* ; les autres libres et animés de grandes vitesses, ce sont les $\mu$, qui, en passant à travers le système des premiers, les distendent et les écartent. « Or il me semble, ajoute-t-il, que sans cette distinction essentielle, les divers phénomènes avec leurs rapports et leurs différences restent enveloppés de mystères, et peut-être inexplicables. (*Ibid.*, p. 279.) »

Cela signifie donc qu'il faut admettre, outre la matière ordinaire,

une seconde matière dans un mode d'être différent de la matière pondérable, et ayant des propriétés qui ne conviennent pas à cette dernière : c'est ce que les savants ont appelé *éther*, et qui ne diffère des μ que par ce qu'on fait ces derniers pondérables.

Cependant, M. Seguin s'écrie : « Que penser de la création d'un agent inconnu, l'éther, ne pouvant être ni perçu ni apprécié par nos sens (p. 297) ? » Mais les éléments μ sont-ils mieux connus que l'éther? sont-ils perceptibles? ne sont-ils pas infiniment petits, et par conséquent incapables de tomber directement sous nos sens ?

Dans un autre endroit, le même savant a formulé contre ceux qui ont soutenu l'hypothèse de l'éther la proposition suivante : « C'est de ce que les savants, dit-il, étaient sous l'empire de notions imparfaites ou fausses que naquit la supposition inadmissible de l'éther, qui est venue embarrasser la marche de cette partie de la science et augmenter encore les obscurités dont on l'avait déjà entourée (p. 292). » Nous regrettons de trouver ces accusations et d'autres de même nature sous la plume d'un savant aussi distingué que M. Seguin. Nous le regrettons d'autant plus que, différant avec lui d'opinion, nous nous trouvons, pour ainsi dire malgré nous, forcés de relever ces accusations. Nous essayerons de le faire cependant avec tous les égards qui sont dus à un homme qui a tant mérité de la science et de l'industrie, et qui, à ces titres et à d'autres encore, est digne de notre estime et de notre vénération.

D'abord, tous nos lecteurs qui ont lu et étudié l'ouvrage du P. Secchi (*Unité des forces physiques*) savent si l'impondérabilité de l'éther a « embarrassé la marche de la science et augmenté les obscurités. » Ces paroles, à la vérité, ont été écrites plusieurs années avant cette publication ; mais deux ans après (1866), M. Seguin, dans un mémoire *sur les causes et sur les effets de la chaleur, etc.*, a continué à combattre la théorie de l'éther et des ondulations comme une opinion dangereuse. Il a essayé, lui aussi, d'expliquer, non pas toute la masse des faits expliqués par le P. Secchi, mais quelques-uns seulement ; peut-il affirmer d'avoir mieux réussi ?

La théorie de M. Seguin, au fond, est la théorie de *l'émission*, à vrai dire, avec des modifications heureuses qui ont fait disparaître quelques-unes des graves difficultés qu'on rencontrait dans la théorie

patronnée par Newton. Nous ne nous occuperons pas d'en discuter le fond ; ce serait sortir de notre sujet. D'autant plus que l'émission est rejetée (sans en excepter même M. Grove) de tous ceux qui, comme notre savant auteur, font l'espace rempli d'une matière ténue, pesante. Nous ferons seulement quelques observations sur les principes et les bases de son raisonnement. Nous examinerons ensuite la question de la pondérabilité, et enfin nous donnerons quelques aperçus sur l'essence et les qualités essentielles de la matière.

M. Seguin, pour se rendre compte des actions réciproques des molécules matérielles, commence par analyser ce qui doit se passer dans l'espace entre deux molécules isolées. « Pour simplifier la question, dit-il, j'ai examiné d'abord l'action que deux molécules isolées, supposées infiniment petites et infiniment denses, exercent l'une sur l'autre, lorsqu'elles se trouvent en présence et dans la sphère de leur attraction mutuelle, considérée comme la dernière limite à laquelle leur action puisse être regardée comme sensiblement appréciable. Ces molécules étant abandonnées à leurs actions réciproques, et obéissant comme tous les autres corps à la loi de la gravitation universelle, se mettront en mouvement pour s'approcher l'une de l'autre avec des vitesses infiniment petites d'abord, mais qui iront en croissant suivant une loi qui sera fonction de l'espace qu'elles parcourront et de la quantité dont elles s'approcheront à chaque instant l'une de l'autre (p. 282). »

Cette manière de voir donne lieu à plusieurs objections qui nous paraissent compromettre tout le reste du raisonnement de l'auteur.

Premièrement, l'auteur part du fait actuel des planètes marchant dans l'espace et paraissant exercer des attractions réciproques d'après des lois connues ; mais est-il permis d'inférer que les mêmes choses se passeraient entre deux molécules placées dans le vide? Pour que cette supposition fût permise, il faudrait être certain que l'attraction est due à une force intrinsèque aux molécules matérielles ; or, rien ne prouve que l'attraction soit réellement une force inhérente à la matière. Le P. Secchi pense que les mouvements des corps célestes, ne s'accomplissant pas dans le vide, pourraient bien être un effet extérieur, c'est-à-dire un effet du milieu. Il ajoute avec raison que les mathématiques ne peuvent rien dans cette question : « elles disent

seulement que deux corps s'approchent avec des vitesses ou des accélérations qui, dans l'unité de temps, sont en certain rapport avec les distances. C'est une loi de fait qui ne nous apprend pas si cette vitesse provient d'une impulsion ou de quelqu'autre cause. (*Unité des forces physiques*, p. 450.) C'est d'ailleurs l'opinion généralement admise aujourd'hui par les savants. Tout se passe entre les molécules de la matière pondérable comme si elles étaient animées d'uno force d'attraction, mais cette force probablement ne leur est pas intrinsèque. Nous pouvons donc conclure avec le P. Secchi que « *la supposition de deux molécules isolées agissant l'une sur l'autre dans le vide est une pure fiction géométrique. (Ibid.)* »

En second lieu, supposé que les deux molécules $\mu$ puissent se mouvoir l'une vers l'autre par une force intrinsèque, il nous semble que l'auteur leur donne des qualités contradictoires. Si nous ne nous trompons pas, la petitesse infinie et la densité infinie sont deux suppositions qui s'excluent l'une l'autre.

L'idée de densité est intimement liée à l'idée de masse, et par conséquent aussi à l'idée d'étendue. L'infiniment petit, dans la question qui nous occupe, exclut au contraire cette idée : la molécule infiniment petite ou l'atome, d'après le concept des chimistes, dit grandeur moindre de toute grandeur assignable. L'auteur lui-même, d'ailleurs, et ceux qui acceptent les bases de ses calculs, affirment que les $\mu$ sont sans étendue.

Je sais que des chimistes ont cru quo les équivalents chimiques représentaient les poids des atomes, et qu'ils ont attribué par là même aux atomes, bien que supposés insécables, des densités différentes. La théorie des équivalents est l'expression immédiate des faits constatés par l'expérience ; mais que les équivalents expriment les poids des atomes, c'est une pure conception de l'esprit, que rien ne justifie. « La théorie atomique, dit M. Régnault, repose sur des hypothèses gratuites ; elle ne renfermo d'exact que ce qu'elle emprunte à la théorie des équivalents. (Régnault. *Eléments de chimie*, p. 549, § 723). » Nous ferons plus loin des considérations d'un autre ordre qui prouveront que l'atome supposé sans étendue ne peut avoir de densité.

Mais accordons pour un instant que les deux molécules $\mu$ soient



infiniment petites et infiniment denses, nous pensons que la suite du raisonnement de l'auteur est en contradiction avec ces deux suppositions, avec les notions que nous possédons sur les mouvements des corps, et avec les idées que nous devons nous former sur les qualités essentielles de la matière. Voici ses paroles :

« Les deux molécules arrivées à leur centre commun de gravité le dépasseront en vertu de la quantité de mouvement dont elles sont pourvues, et s'éloigneront jusqu'à ce qu'elles soient venues occuper, en changeant de position, la place qu'elles occupaient avant l'origine du mouvement. (*Corrélation*, *etc.*, *notes*, p. 282.) »

Examinons ce raisonnement. Comme ces molécules marchent uniquement en vertu de la force intrinsèque dont on les suppose animées, leur mouvement doit s'accomplir en ligne droite : leur centre commun de gravité doit se trouver sur cette ligne toujours à égale distance des molécules elles-mêmes, quelle que soit leur vitesse. Elles n'arriveront donc au centre du système qu'au moment de leur rencontre ou au moment du choc, lequel ne peut être qu'un choc direct. S'il en est ainsi, comment pourraient-elles dépasser ce centre et continuer à marcher chacune dans la même direction ?

Soit qu'on suppose les $\mu$ douées d'élasticité, soit qu'on leur donne les propriétés des corps durs, ces molécules ne pourront pas continuer leur course au delà de leur centre commun de gravité. Si elles sont élastiques, après la rencontre elles rebrousseront chemin, reprenant sur tous les points de leur course les vitesses qu'elles avaient précédemment sur chacun de ces points : leur vitesse sera de nouveau zéro au point de départ. A la fin de leur course, elles ne se trouveront donc pas avoir changé de position. Si on les regarde comme des corps durs, tout mouvement doit cesser à l'instant même de la rencontre. Il en résultera, si l'on veut, un *nouveau genre de mouvement*, de la chaleur, par exemple, mais tout mouvement appréciable d'un point à l'autre de l'espace doit nécessairement cesser. Dans un cas comme dans l'autre, les deux molécules ne pourront donc pas dépasser leur centre commun de gravité. Vouloir que les choses se passent autrement, c'est prétendre que les mouvements des molécules $\mu$ soient régis par des lois plus ou moins en opposition avec les lois que l'expérience a permis de constater sur les mouvements des corps.

On nous dira, peut-être, que l'auteur, pour éluder les difficultés, a exclu d'avance « entre les molécules toute possibilité de rencontres et de chocs qui les empêcherait d'accomplir tous les mouvements résultant des actions qu'elles exercent les unes sur les autres, (p. 283). » Nous répondrons que cette supposition contient des éléments contradictoires. On affirme d'un côté que rien ne doit empêcher les effets des actions réciproques de ces molécules, et de l'autre on établit justement que l'un des principaux effets de ces actions ne puisse pas avoir lieu.

En effet, tout le raisonnement de l'auteur a pour but d'expliquer principalement *la distension* ou, en d'autres termes, les dilatations des corps qui donnent lieu à leur changement de volume et à leur changement d'état. Or, il nous semble que si deux molécules isolées, marchant l'une vers l'autre, quelles que soient leurs vitesses, ne modifient en rien leur mouvement au moment de leur rencontre, par l'effet de cette rencontre ou du choc qui doit en résulter, je ne vois pas comment ces mêmes molécules pourraient ensuite, en passant à travers un système de molécules $m$, les écarter les unes des autres ou produire la distension. La distension évidemment ne résulte pas du passage des $\mu$ *entre les systèmes* des $m$, car autrement les $\mu$ produiraient cet effet en frappant dans le vide ; mais il doit être produit par le choc direct de celles-ci contre les $m$ : or, ces molécules ne diffèrent entre elles que parce que les premières sont libres, et que les autres sont enchaînées par les liens de la cohésion. Si une molécule, lorsqu'elle est libre, se laisse pénétrer et dépasser sans obstacle par une autre qui la frappe avec une grande vitesse, j'ai de la peine à comprendre pourquoi elle ne se laisserait pas de même pénétrer sans résistance lorsqu'elle est enchaînée. Bref, si une molécule libre qu'on dit non seulement matérielle, mais pondérable et infiniment dense, se comporte au choc comme si elle n'était pas matérielle, on ne voit pas pourquoi elle ne se comporterait pas de la même manière lorsqu'elle est groupée avec d'autres. Le lien qui la retient dans le système, n'étant pas quelque chose de matériel, n'a pas changé la nature des molécules. Il est évident aussi que la vitesse ou leur état de repos relatif n'a non plus aucune influence sur *leur nature*. L'effet du choc, sans doute, ne sera pas le même sur une molécule libre en mouve-

ment et sur une molécule enchaînée et respectivement en repos, mais cette diversité d'effet n'est pas telle qu'il nous soit permis de regarder la molécule libre comme si elle était au choc impassible ou indifférente.

La conclusion de cet argument est qu'on ne peut admettre la possibilité d'un choc entre une molécule libre et des molécules enchaînées, que dans la supposition où le choc serait possible entre les molécules libres elles-mêmes. La distension ne pourrait avoir lieu que dans ce cas. Mais si les molécules libres peuvent ressentir l'effet de leur choc réciproque, le raisonnement de l'auteur ne peut plus marcher sans faire de nouvelles suppositions.

Il y a plus. Prétendre que deux molécules libres $\mu$ marchant l'une vers l'autre sur une même ligne puissent, après la rencontre, suivre chacune la même direction, c'est faire une supposition contraire aux idées que nous devons nous former sur les propriétés essentielles de la matière. Une de ces propriétés est l'impénétrabilité. L'impénétrabilité (nous dirions plutôt l'*incompénétrabilité)*, est, comme on le sait, la qualité par laquelle une portion quelconque de matière ne peut simultanément occuper l'espace rempli par une autre.

Que ce soit une propriété essentielle, c'est-à-dire une propriété qui découle nécessairement de son essence, une propriété qui doit naturellement se trouver dans la matière, nul ne le contestera : la physique et la mécanique sont sur ce point d'accord avec la saine philosophie.

Il doit d'ailleurs en être ainsi ; car si l'on pouvait concevoir de la matière sans cette propriété, elle ne serait plus la matière que nous connaissons. Cette matière ne pourrait, en effet, se révéler à nous par une action directe sur nos sens. Tous les phénomènes naturels et toutes les impressions produites par la matière sur nos organes ne sont que le résultat de mouvements divers de la matière elle-même ; or, l'incompénétrabilité est justement la première condition indispensable de tout mouvement ; donc, sans cette propriété, impossible de connaître la matière.

On pourrait, sans doute, supposer cette nouvelle sorte de matière mise en mouvement par la puissance divine, mais ce mouvement continuerait à exister toujours identiquement le même : il ne pour-

rait ni être transformé sur elle, ni être transmis par elle à une autre partie de matière semblable ; car la première traverserait l'espace occupé par la seconde sans la déplacer ni la troubler nullement. Tout phénomène deviendrait dès lors impossible. Donc, l'impénétrabilité est une qualité nécessaire, sans laquelle la matière telle qu'elle est *dans l'ordre des choses actuelles* ne pourrait ni exister ni se concevoir.

D'un autre côté, tous les savants conviennent sans exception que cette propriété ne doit pas être attribuée aux aggrégats ou groupes d'atomes, mais aux atomes élémentaires eux-mêmes. Quel que soit donc le concept qu'on veuille se former de ces atomes, on est, bon gré, mal gré, contraint de leur laisser l'impénétrabilité. M. Seguin, par conséquent, en enlevant à ses $\mu$ cette qualité, non seulement s'est mis dans l'impossibilité de se rendre compte d'un mouvement matériel quelconque, mais, pour nous servir de ses mêmes paroles, il « les dépouille gratuitement d'un des attributs les plus essentiels de la matière. »

Il nous paraît inutile après cela de suivre l'auteur dans le reste de son raisonnement, puisque ce raisonnement est basé sur des suppositions contraires aux connaissances que nous possédons sur les qualités de la matière et sur les mouvements des corps, et puisqu'il suppose ce qu'il aurait fallu prouver avant tout, savoir que la gravité est une force inhérente aux molécules de la matière subtile elle-même.

Venons maintenant à la question de la *pondérabilité*. D'abord, existe-t-il un fait quelconque tendant à démontrer que la matière qui sert de véhicule à la production des phénomènes est pesante ? Nous n'en connaissons aucun.

Le seul fait que l'on pourrait peut-être apporter est la perturbation du mouvement de quelques astres, et particulièrement des comètes, dont quelques-unes, comme celles de Encke et de Faye, ont présenté une accélération de mouvement inexplicable par les attractions des planètes. Nous répondons premièrement que ces perturbations ne peuvent être mises sur le compte du milieu : rien ne le prouve. D'après MM. Plana, Faye et Secchi, il est plus probable qu'elles sont occasionnées par la matière qui donne naissance à la lumière zodiacale ou par des essaims d'étoiles filantes, ou même par

quelques-unes des petites planètes situées entre Mars et Jupiter. Le P. Secchi, comme nous l'avons déjà fait remarquer, affirme que l'éther, loin d'opposer une résistance et de troubler les mouvements des corps célestes, pourrait bien être, au contraire, la cause de la gravité elle-même, et par conséquent la cause de leur mouvement.

En second lieu, quand même il fût prouvé que l'éther opposât réellement une résistance aux mouvements planétaires, cela ne prouverait nullement sa *pondérabilité*, mais simplement sa *matérialité*. Que l'éther soit matériel, nul doute; aucun ne l'a jamais contesté, ni ne pourrait raisonnablement soulever sur ce point la moindre objection. L'électricité, la lumière, la chaleur, qui ont été appelées des agents impondérables, n'étaient pas cependant regardés par les savants comme des agents immatériels. Les phénomènes naturels, ainsi que nous venons de le dire, n'étant ni ne pouvant être autre chose que des effets de mouvement, ils ne pourront être engendrés ni s'accomplir autrement que dans la matière et par le moyen de la matière. Ceux qui prétendent faire l'éther pondérable, ou, en d'autres termes, ceux qui ont supposé l'espace rempli d'une matière ténue, pesante, ont confondu et identifié la *matérialité* avec la *pondérabilité*.

En effet, voici en quels termes s'exprime M. Seguin, à propos de la distinction que la généralité des savants établissent entre matière *pondérable* et matière *impondérable* : « Comment ne pas se défier d'une classification qui, en présence de phénomènes également accessibles à nos sens, crée arbitrairement deux sortes d'êtres matériels *contradictoires* dans *leur essence;* un à qui seul elle connaît le droit d'existence, et un autre qu'elle *dépouille* gratuitement *des attributs les plus essentiels de la matière*.» (*Corrélation... Notes*, p. 297.) On trouve la même idée exprimée dans deux autres endroits du même ouvrage (p. 291, 292). Dans la pensée de l'auteur donc, enlever à la matière la *pondérabilité*, c'est lui enlever *les attributs les plus essentiels*, ou, en d'autres termes, lui enlever son essence ou sa *matérialité;* car la matière qui n'a pas les attributs qui doivent nécessairement se trouver en elle, n'est plus matière. On a donc confondu la *pondérabilité* avec la *matérialité*. Celle-ci est non-seulement une propriété essentielle de la matière, mais c'est ce qui cons-

titue son *essence* même, tandis que l'autre n'est qu'une propriété secondaire, ou, du moins, rien, absolument rien, ne prouve qu'elle soit une propriété nécessaire.

L'idée de l'éther pondérable est née de cette confusion. Nous reviendrons sur la question de la matérialité des corps en général; continuons à nous occuper ici de la pondérabilité de l'éther en particulier.

Nous disions qu'il n'existe aucun fait tendant à prouver que l'éther ou la matière ténue disséminée dans l'espace est pesante. Ceux mêmes qui réclament cette propriété ne peuvent en disconvenir. Or, cette absence complète de faits en sa faveur est déjà un argument contre elle; car comme le plus grand nombre des phénomènes s'accomplissent à l'aide de cette matière ténue, il nous semble qu'elle aurait fini par trahir sa prétendue pondérabilité si elle l'avait réellement possédée.

On affirme que cette propriété doit exister, mais qu'on ne peut pas la constater, vu la très-grande rapidité de mouvement dont la matière ténue est animée. Pour confirmer cette assertion, on apporte diverses comparaisons de corps se mouvant dans l'espace avec de grandes vitesses, qui, à cause justement de ces vitesses, paraissent soustraits à la gravité.

Mais rien n'autorise à faire ces comparaisons. Si les corps lancés ou se mouvant d'une manière quelconque avec de grandes vitesses dans l'espace paraissent à l'œil soustraits aux lois de la pesanteur, la pensée ne nous viendra même pas de croire qu'ils soient réellement sans gravité. Car nous possédons une foule de faits qui non seulement nous donnent le moyen de corriger l'illusion momentanée de notre œil, mais qui nous permettent même d'évaluer l'intensité de cette force. Le contraire a lieu pour l'éther. Tous les faits tendent à prouver qu'il est réellement sans pesanteur, et rien ne nous a démontré jusqu'ici qu'en cela nous soyons dans l'illusion.

Bien loin de là, nous croyons qu'en octroyant cette qualité à l'éther, ce serait introduire dans la théorie de nouvelles difficultés. En effet, si l'éther était pondérable, comment pourrait-il remplir l'espace d'une manière uniforme? Il nous semble que ses molécules, quelle que soit la vitesse, grande ou petite, dont on les suppose ani-

mées, devraient nécessairement tendre à s'accumuler en plus grande quantité vers les corps célestes que partout ailleurs ; car sans cela elles ne seraient pas pesantes. Les planètes, en outre, en marchant dans leurs orbites, devraient aussi entraîner continuellement avec elles tout l'éther qu'elles trouvent sur leur passage ; ce qui, dans le cours des siècles, finirait par raréfier l'espace et par condenser une grande quantité de cet éther sur les planètes elles-mêmes, augmenter leur masse et troubler les lois qui régissent leurs mouvements.

M. Seguin a dit d'ailleurs formellement : « Que les $\mu$ peuvent rester engagés, et faire partie du système des $m$, lorsque, venant à les traverser, leur vitesse diminue et devient insuffisante pour résister à l'action que les $m$ exercent alors sur eux. » (*Notes,* page 288.) En d'autres termes, la matière subtile ou l'éther peut se convertir en matière ordinaire. Si cela doit arriver quelquefois, ce doit être justement sur les corps célestes, lesquels doivent exercer sur les $\mu$ des attractions très-puissantes, et, dans tous les cas, sans comparaison, beaucoup plus grandes que les attractions exercées par d'autres groupes quelconques de molécules $m$.

Quoi qu'il en soit, il me semble que, puisqu'il n'y a aucun fait tendant à prouver la pesanteur de l'éther, puisqu'il est impossible de la constater, puisque les phénomènes ne la réclament pas, on n'a aucun droit de l'imposer à la science.

Nous avons fait voir que la pensée d'attribuer la pondérabilité à l'éther est née d'une idée erronée ; nous devons ajouter qu'elle a eu aussi une autre origine : on a voulu « simplifier les causes et les principes pour les ramener à l'unité. » Rien n'entre moins dans notre esprit que de blâmer cette idée en elle-même ; car c'est vers ce but que tendent toutes les sciences naturelles : leur degré de perfection sera, sans contredit, d'autant plus élevé qu'elles auront pu réduire à la plus simple expression le nombre de formules, de lois et de principes qui leur servent de base. Mais, pour en arriver là, il est nécessaire de suivre la marche que ces sciences demandent ; et il sera impossible d'y arriver autrement qu'en se tenant entre les limites des connaissances que l'on possède.

M. Seguin affirme au contraire « qu'on ne doit hésiter à donner la préférence à toute théorie qui résume, rassemble, simplifie les causes

premières et les ramène à l'unité... sans trop se préoccuper si, basée sur de tels principes, elle n'explique pas, en apparence du moins, les faits et les phénomènes.... Alors même que toutes les objections ne seraient pas résolues, les obscurités dissipées, les contradictions évitées, par cela seul que cette théorie se fonde sur l'unité de principes et de causes, on peut présager avec certitude et être certain qu'avec le temps les faits qui se trouvent en contradiction avec elle rentreront sous l'empire de la loi générale lorsqu'ils seront mieux connus. » (*Notes*, p. 296.)

Qu'entre deux théories qui expliquent d'une manière satisfaisante les faits et qui se prêtent également bien aux exigences des phénomènes, on donne la préférence à la moins compliquée, nous le comprenons; mais qu'on préfère une théorie « par cela seul que cette théorie est fondée sur l'unité de principes et de causes, » sans se préoccuper si ces principes sont ou ne sont pas d'accord avec les phénomènes, ainsi que l'auteur paraît vouloir l'établir, c'est ce qu'on ne pourrait raisonnablement admettre. Suivre cette marche, ce serait suivre une marche à rebours, qui généralement n'aboutirait qu'à des déceptions.

Dans les sciences expérimentales ou d'investigation, on n'établit pas des lois et des principes arbitraires en chargeant le temps de les vérifier, mais les principes s'établissent après l'observation et par l'observation. Disons mieux; dans ces sortes de sciences il n'existe pas de principes proprement dits : ce sont plutôt des conclusions qu'on élève au rang de principes. Mais dans tous les cas, leur valeur repose *uniquement* sur la valeur des observations elles-mêmes d'où ils découlent.

Après cette proposition générale, notre savant auteur ajoute : « Or, quoi de plus simple que de tout rapporter à un seul élément, la matière? à un seul agent qui la modifie, le mouvement? » (*Notes*, p. 297.) Rien de plus simple, en effet. Mais qu'est-ce que la *matière?* Nous savons que l'auteur ne donne pas à cette parole la même acception que la généralité des physiciens. D'après lui et d'après ceux qui, comme lui, ne peuvent point se faire à l'idée d'un corps impondérable, le mot *matière* renferme nécessairement l'idée de *pesanteur*. En donnant à ce mot une telle acception, l'énoncé de la

théorie pourra encore être simple ; mais il importe peu qu'une théorie soit plus simple qu'une autre, il faut avant tout qu'elle soit vraie ou qu'elle ait au moins toutes les apparences de la vérité. Nous avons déjà dit que rien, absolument rien, ne prouve que la matière, pour être matière, doit être pesante.

Entrons ici plus directement dans ce sujet. Quelle est l'essence de la matière ? Quelles sont ses propriétés essentielles ? C'est une question ardue que celle-ci ! Elle a été profondément étudiée déjà et longuement discutée par tant de hautes intelligences et laissée cependant toujours pendante, toujours à moitié dans l'obscurité. Nous sommes presque tenté de dire qu'elle n'en sortira jamais. Dans tous les cas, elle n'en sera pas tirée par les seuls efforts des physiciens ; car ce n'est pas une simple question de physique, elle se trouve en partie placée hors du domaine de cette science. C'est une question physique et métaphysique tout à la fois. Elle réclame par conséquent, pour être résolue, une entente préalable entre les savants qui se consacrent à l'étude de ces deux sciences, entente qui ne paraît pas possible, car la physique aujourd'hui traite avec un certain dédain la métaphysique, qui est pourtant sa sœur aînée. Toutes les sciences humaines sont sœurs; elles ont besoin de se donner la main pour se soutenir, pour se fortifier, pour briller d'un plus vif éclat. La philosophie est le flambeau qui éclaire la route à toute vraie science. Vouloir marcher contre elle, malgré elle, ou même sans elle, ce serait marcher dans les ténèbres. Pourtant nous connaissons des savants qui se glorifient de traiter des sujets scientifiques en dehors de toute connaissance philosophique!

En abordant la question que nous venons de poser, nous n'avons certes pas la prétention de la résoudre : nous venons de dire que jamais peut-être elle ne sera résolue, encore moins le sera-t-elle dans un travail aussi restreint que le nôtre. Mais, *in arduis tentare sat est.*

Ces quelques mots ont déjà fait comprendre au lecteur que nous traiterons la question, en nous servant tout à la fois des connaissances physiques et des données qui nous sont fournies par la métaphysique.

Parlons d'abord de l'essence. Quelle est donc l'essence de la

matière? Dans toute substance créée, il faut reconnaître un principe de l'être qui le distingue de ses opérations et de ses propriétés. Toute substance exige de sa nature certaines propriétés et ne peut exister qu'avec elles; mais on ne peut pas affirmer que ces propriétés forment ou constituent l'essence même de l'être, car elles en sont une conséquence nécessaire, non une partie constitutive; elles jaillissent nécessairement de l'être, ne sont pas l'être. Les qualités même substantielles d'un corps ne constituent donc pas son *essence*.

D'après les scholastiques, la matière serait un principe indéterminé par lui-même, et ne pouvant conséquemment se déterminer tout seul. On ne peut pas concevoir en effet de la matière dénuée de toute manière d'être, privée de tout accident, dépourvue de toute forme ou de toute figure. Mais, bien qu'une figure lui soit absolument nécessaire, aucune en particulier ne lui est nécessairement due. Aucune donc en particulier ne peut s'imposer d'elle-même à la matière. Comment d'ailleurs une figure qui est nn simple accident, et qui ne subsiste par conséquent pas sans un snjet, ponrrait s'imposer d'elle-même? D'un autre côté, la matière sans forme ou sans figure, étant indéterminée, ne peut pas non plus se donner cette figure d'elle-même. Il faut donc que la figure vienne à la matière d'un principe substantiel *distinct* d'elle. C'est ce *principe* que les scholastiques ont plus particulièrement appelé *forme*, parce que c'est lui qui détermine, qui informe, qui actue la matière. La matière et la forme (entendue selon cette dernière acception) sont denx principes substantiels; en sorte que, tout en s'exigeant réciproquement, ni la matière n'est un effet de la forme, ni la forme un simple accident de la matière. Toutes les qualités accidentelles et substantielles des êtres matériels sont un résultat de la matière et de la forme, un vrai produit provenant de l'union de ces deux principes.

Selon les scholastiques, une substance est matérielle lorsqu'elle se compose de *matière* et de *forme*. La *matérialité* d'une substance corporelle ou d'un corps, ce qui constitue proprement son *essence*, consiste en ce que dans le corps, l'élément qui détermine son être spécifique, ou ce qui fait que ce corps est corps, est réellement distinct du sujet qui est déterminé, ou de la matière. L'*essence* d'un corps résulte donc de l'union de la *matière* avec la *forme*.

Quelques physiciens ont plaisanté sur cette manière de voir des scholastiques. Ces savants ont donné à penser par là qu'ils n'étaient pas initiés aux connaissances philosophiques, et qu'ils ne comprenaient peut-être pas assez ce qu'ils admettaient eux-mêmes comme physiciens. La physique n'affirme-t-elle pas aujourd'hui que la matière résulte de monades dynamiques ou d'éléments simples en mouvement? Ou, en d'autres termes, n'admet-elle pas que l'essence des corps est constituée de ces deux choses?

En effet, de quoi fait-on découler toutes les propriétés des corps? Ce n'est pas des éléments seuls, mais des éléments en mouvement. Les éléments seuls ne pourraient faire naitre d'eux-mêmes aucune des propriétés des corps, puisque sans cette force ils seraient incapables d'agir sur nos organes. Le mouvement donc, ou plutôt la force qui l'engendre dans l'élément, est un vrai *principe* actif, distinct de la matière, lui donnant la subsistance, actuant la quantité et l'étendue ou actuant le corps. Or, qu'est-ce que la *forme* des scholastiques? Nous l'avons vu : c'est un principe sans lequel le corps ne serait pas corps, puisqu'il n'aurait ni quantité, ni étendue, ni aucune autre propriété.

Il faut avouer que les scholastiques ne savent pas ce que c'est que la forme ou qu'elle en est l'essence; mais les physiciens ne savent pas davantage ce que c'est que la force ou en quoi elle consiste. Sont-ils mieux renseignés sur les éléments simples? La matière peut-elle vraiment être constituée d'éléments simples? Nous étudierons cela plus loin, mais nous pouvons affirmer dès à présent que la physique ne le sait pas : elle le suppose. Il s'en faut de beaucoup que, sur ce point, les idées des physiciens d'aujourd'hui soient aussi claires et aussi nettes que l'étaient, il y a vingt-deux siècles, les idées des philosophes. Je n'en suis pas surpris, et il n'y a pas lieu de s'en étonner. L'essence des corps ne tombant pas sous les sens ne peut être connue que par la raison : cette question n'est donc pas du domaine de la physique. Elle appartient à un ordre de choses plus élevées : c'est une question de pure métaphysique. Les physiciens auraient bien fait, je crois, de ne pas la toucher; leur domaine s'arrête aux propriétés de la matière et aux phénomènes qui en résultent : il ne s'étend pas plus loin.

Je ne voudrais pas donner le change à mes lecteurs. Avant de me livrer à l'étude des sciences naturelles, j'ai appris, il est vrai, à aimer et à respecter les enseignements de la philosophie, mais je n'ai jamais professé ni cultivé d'une manière toute spéciale cette science; tandis que je cultive avec amour et que j'enseigne depuis vingt ans la physique. Mes paroles ne peuvent donc être attribuées ni à une secrète antipathie pour la physique ni à un amour trop passionné pour la philosophie.

Mais cette question de l'essence des corps n'a pas beaucoup éclairé notre route : ce que nous avons dit ne sera pas pourtant inutile. Il est temps cependant d'en sortir pour nous occuper de leurs propriétés substantielles.

Ici, nous sommes dans notre domaine, bien que ce ne soit pas notre domaine exclusif, car la philosophie, comme on le sait, s'occupe aussi, et à juste titre, des corps et de leurs propriétés.

Tous les traités de physique enseignent que les qualités essentielles des corps sont l'*impénétrabilité* et l'*étendue*. Nous avons déjà assez parlé de la première ; il nous reste à parler de la seconde.

Mais faisons remarquer avant tout que la *pondérabilité* n'est pas du nombre. Les philosophes non plus n'ont jamais songé à la regarder comme une propriété substantielle. Les savants donc qui, pour le besoin de leur cause, veulent que cette propriété soit nécessaire aux substances matérielles, non seulement n'ont pas pour eux l'appui des faits, mais ils ont contre eux toute l'armée des physiciens et des philosophes. Or, avoir contre soi la philosophie, n'est-ce pas avoir contre soi la raison ? Donc, répétons-le encore, il n'est pas nécessaire que l'éther soit pondérable pour qu'il soit matériel. Donc, la supposition des $\mu$ pondérables, imaginée pour simplifier la théorie, ne simplifie rien, puisque, dans cette hypothèse comme dans l'autre, tous les phénomènes sont regardés comme des mouvements de la matière, puisqu'à l'une comme à l'autre on peut appliquer avec la même vérité les paroles de M. Seguin : « Quoi de plus simple que de tout rapporter à un seul élément, la matière ? à un seul agent qui la modifie, le mouvement ? » La supposition des $\mu$ pondérables ne remplit donc pas le but qu'on s'était proposé. Mais venons à l'étendue.

Un certain nombre de physiciens, surtout dans ces derniers

temps, prétendent que cette propriété est nécessaire à la matière sensible, mais qu'elle ne l'est pas pour ses derniers éléments, qu'ils supposent insécables. Les scholastiques, au contraire, ont regardé et regardent l'étendue comme absolument nécessaire à toute portion de substance corporelle. D'après eux, cette qualité est essentielle à la matière en acte ou au corps, dans ce sens qu'il est de sa nature d'être étendu. L'étendue est tellement liée à l'essence du corps que, suivant les lois de la nature, aucun corps ne peut exister sans posséder une certaine quantité. Par corps, on entend en général des substances formées d'aggrégats d'éléments matériels; mais les éléments matériels eux-mêmes sont des corps, et pour si minimes qu'ils soient, ils ne peuvent l'être autrement qu'en possédant une certaine étendue.

En est-il vraiment ainsi? Si ce qu'on appelle élément doit nécessairement être étendu, il doit être encore divisible; continuons donc à le diviser : notre esprit sera-t-il enfin arrêté dans ce travail? Sinon, nous serons contraints d'admettre qu'un corps, qui est fini de sa nature, quelque exigu qu'il soit, doit être divisible à l'infini, ce qui paraît difficile à concevoir. Si nous sommes arrêtés dans la division, ce sera nécessairement parce que nous aurons enfin trouvé un élément qui ne sera pas étendu; mais alors l'étendue ne serait pas essentielle à la matière, ce qui est contraire aux idées que nous avons de la matière elle-même, et encore plus difficile à comprendre.

Nous sommes ici en face d'une difficulté qui se présente à notre esprit comme une barrière infranchissable : c'est peut-être la plus grande difficulté que la philosophie et la physique aient jamais rencontrée.

Il est incontestable que tout espace, tout mouvement et tout corps mathématique est divisible à l'infini. Aristote le prouve avec une telle clarté, une telle abondance, une telle solidité d'arguments, que je serais presque tenté d'affirmer qu'il n'y a pas de vérité géométrique qui soit démontrée d'une manière plus irréfragable que celle-ci (1). Le moindre doute raisonnable ne pourrait être soulevé sur ce

(1) Cette question se trouve traitée en plusieurs endroits de ses œuvres, mais plus particulièrement dans les livres 3e et 6e *Naturalis auscultationis, seu de Naturalibus principiis*; dans le livre I *De generatione et corruptione*, chapitre 2; et enfin

point, qui est d'ailleurs admis sans contestation par tous les vrais savants. Mais ce qui est dit de l'espace idéal et de l'étendue mathématique, est-il également vrai de l'espace réel et du corps physique? Voilà le point important de la question qu'il s'agit ici d'élucider.

S. Thomas ne paraît pas disposé à l'accorder. Il se contente de dire que la division des substances corporelles ne peut être portée au-delà d'une certaine limite, car, bien que la matière n'exige pas telle ou telle *quantité* déterminée, toutefois elle ne pourrait exister qu'avec la quantité qui correspond à une forme quelconque des choses naturelles, par la raison que toute forme exige naturellement une certaine mesure de matière et une certaine quantité. Sans cette quantité nécessaire, pas de forme, et sans forme, pas d'accidents et pas de propriétés substantielles (1). Ce qui signifie, en d'autres termes, que la matière ne peut exister sans une certaine étendue. Nous sommes de cet avis, et c'est précisément à cause de cela que la division doit être toujours possible sans épuiser jamais la substance du corps ; car si en continuant la division l'étendue disparaissait, toutes les qualités de la matière disparaîtraient et la matière elle-même.

S. Thomas, ainsi que nous venons de le voir, dit que les corps physiques peuvent être divisés seulement *ad certum terminum ;* mais qu'est-ce qu'il y a au-delà de ce terme? Il ne le dit pas. Le saint docteur y a vu un abîme qu'il n'a pas voulu franchir. Dans un autre endroit cependant il ajoute quelques paroles de plus, mais on voit qu'il se tient dans les généralités : on dirait qu'il est entré dans la question comme à regret. Le corps naturel, dit-il, lorsqu'on le considère sous toute sa forme, ne peut pas être divisé à l'infini, parce que si l'on portait la division jusqu'aux éléments les plus subtils, il se

et surtout dans un petit traité intitulé : *De insecabilibus lineis*. Ceux qui ont écrit sur cette matière, après le Stagirite, ont pris à peu près tout de lui, y compris Descartes et Pascal ; et ils ne se sont pas mieux exprimés.

Ces deux philosophes surtout ont confondu l'étendue avec la matière étendue, l'espace idéal avec le réel ; du moins ils ne font aucune distinction. Pascal n'a pas expliqué non plus dans quel sens il faut entendre cette divisibilité à l'infini. Aristote a été plus exact que cela et plus modeste aussi.

(1) Etsi corpora mathematica possint in infinitum dividi, corpora tamen naturalia ad certum terminum dividuntur, cum unicuique formæ determinetur quantitas secundum naturam, sicut et alia accidentia. (*De pot.*, q. 4, a. 1, ad 5.)

changerait en autre chose (1). En quoi se change-t-il? S. Thomas s'arrête sans donner d'autre réponse et laisse la question pendante. Nous ne voudrions pas cependant en rester là : essayons, s'il est possible, d'aller plus loin.

L'étendue et l'espace, avons-nous dit, sont divisibles à l'infini, mais pourquoi le sont-ils? Est-ce parce qu'ils contiennent en eux-mêmes *quamdam infinitatem?* Nullement. Cette divisibilité est possible pour toute étendue et pour tout espace pour aussi minimes qu'ils soient. Toute étendue mathématique *finie*, et tout espace idéal *fini*, sont donc divisibles à l'*infini*. Ceci est hors de toute contestation. Maintenant y aurait-il contradiction à admettre une division semblable d'un corps qui possèderait cette étendue et qui occuperait cet espace? Répugne-t-il intrinsèquement que l'espace en question soit entièrement rempli par le corps ou par la *substance* du corps sans aucune discontinuation entre ses parties, en sorte qu'à chaque partie de l'espace corresponde une égale partie de matière? Evidemment non. S. Thomas n'a pas vu cette contradiction, Aristote encore moins. Qui ne voit donc que, dans ce cas, la division de l'espace entraîne nécessairement la division du corps, non pas de son étendue seulement et de sa quantité *in abstracto*, mais de sa substance elle-même?

Je voudrais, de ceux qui nient la divisibilité de la matière à l'infini, une réponse *directe* à cet argument. Ils pourront sans doute me dire qu'ils ont de la peine à concevoir qu'une chose finie puisse être divisée à l'infini, ils pourront me faire d'autres difficultés plus ou moins spécieuses et même de vraies, de solides difficultés ; mais je ne vois pas ce qu'on pourrait directement répondre à l'argument lui-même. Que de mystères naturels que nous ne comprenons pas! Nous est-il permis pour cela d'en nier l'existence? Mériterait-il le titre de sage ou de savant, celui qui s'obstinerait à nier un phénomène ou une vérité d'un ordre quelconque, parce qu'il trouve sa raison impuissante à concevoir comment cette vérité subsiste ou comment ce phénomène se produit?

(1) Corpus naturale quando consideratur sub tota forma non potest in infinitum dividi ; quia quando jam ad minimum deducitur, statim propter debilitatem virtutis convertitur in aliud. (*De sensu et sensato*, lect. 15.)

Expliquons ici comment il faut entendre cette divisibilité à l'infini. Evidemment il ne s'agit pas de tirer réellement d'une substance matérielle, qui est par elle-même *finie*, des parties de cette substance de plus en plus croissantes sans nombre ni mesure ; non, il ne peut pas être question de diviser *actu* la substance du corps en nombre infini de parties : une pareille divisibilité est absurde. Qui ne sait que Dieu est le seul être, *actu*, *infini*, et qu'il n'y a en dehors de lui ni essence, ni être, ni force, ni nombre, ni grandeur, ni quoi que ce soit qu'on puisse dire infini en acte ? Il s'agit donc d'une division en puissance tout comme pour le mouvement, pour l'espace idéal et pour l'étendue mathématique. Or, il est prouvé aussi clairement que *deux et deux font quatre* que tout mouvement, tout espace, toute étendue, bien qu'ils ne possèdent pas réellement un nombre infini de parties, peuvent cependant être divisés à l'infini ; donc il est également prouvé qu'une substance corporelle ayant une étendue, remplissant entièrement un espace, doit pouvoir être divisée de la même manière.

Aristote a traité cette question en maître, et il se prononce de la même manière que nous venons de le faire. Nous sommes étonné que S. Thomas ne l'ait pas remarqué ni aucun philosophe depuis. Dans le I^er^ livre *De generatione et corruptione*, il dit formellement que tout corps *sensible* doit nécessairement pouvoir se diviser toujours sur chacun de ses points. Une pareille division, ajoute-t-il, entendue comme il faut, c'est-à-dire en puissance, n'est pas absurde, bien qu'il soit impossible de la réduire en acte (1). Aristote admet donc la divisibilité infinie de la substance matérielle.

Pour mieux saisir la pensée du grand philosophe, remontons à l'origine de cette question. Certains stoïciens, entre autres Parménide et Zénon, s'étaient mis dans l'esprit qu'il n'existe dans le monde qu'un seul être, et que, par conséquent, ce que nous voyons et que nous prenons pour des êtres réels ne sont que des apparences ; parce que, disaient-ils, si nous admettons plusieurs êtres, il est impossible de prouver l'existence d'un seul. On avait beau leur dire que le monde

(1) Omne corpus sensibile quovis in puncto esse divisibile atque indivisibile nihil est absurdum : potentia siquidem divisibile existit, actu indivisibile. (*De generatione et corruptione*, lib. 1, c. 2.)



visible est réellement rempli de toute sorte d'objets et qu'il leur serait difficile de prouver le contraire. Dites, si vous voulez, leur ajoutait-on, que ce sont des divisions de l'*être un*, mais ne dites pas que les êtres sont des fantômes et que le monde est entièrement vide. A quoi ils répondaient qu'il leur était impossible d'admettre la division de l'*être un*, car s'il était divisible il ne serait plus un, mais plusieurs, ce qui revenait à les détruire tous ; car, d'après eux, diviser l'être, c'était détruire sa substance.

Platon et Xénocrate, son disciple, ont cru pouvoir tout sauver en disant que toute division n'entraîne pas la destruction de l'essence et qu'on peut, par conséquent, diviser l'*être* sans le détruire, pourvu qu'on ne pousse pas la division trop loin. Ils ont conséquemment imaginé certaines grandeurs auxquelles ils ont lié l'essence de l'être et qu'ils ont supposées indivisibles. Ce sont les atomes, ἄτομα, c'est-à-dire de la matière sans parties.

C'est ici qu'Aristote se mêle au débat et nie d'une manière formelle qu'il puisse exister une grandeur quelconque sans parties : il affirme que toute grandeur doit pouvoir être divisée toujours *in infinitum*. Il ne s'agit donc pas seulement de la division de quantités mathématiques, mais de grandeurs physiques, mais de la matière, mais de la substance même des êtres matériels ; autrement Aristote n'aurait pas répondu à la question (2).

Au reste, en plusieurs autres endroits du premier livre *De generatione et corruptione* où, comme on le comprend, il n'est pas question de quantités mathématiques, mais uniquement de substances matérielles, Aristote s'explique de façon à exclure tous les doutes.

Il examine d'abord s'il existe vraiment des grandeurs physiques qui ne puissent pas être divisées, et ensuite si de pareilles grandeurs, supposé qu'elles existent, peuvent être des corps. Il conclut à l'impossibilité d'épuiser la division d'un corps : « On ne peut pas admettre, dit-il, qu'un corps puisse être divisé tellement qu'il ne

(2) Que l'origine de cette controverse soit vraiment celle que nous donnons, on peut s'en assurer en consultant le commentaire de Georges Pachymerius, interprété par Jacques Scheckius, qui se trouve à la suite du traité d'Aristote (De insecabil. lineis). — (Edit. de Paris, MDCXXIX, Typis regiis apud Societ. græcarum æditionum. — 2 vol. in fol.)

reste plus rien à diviser. Car si un pareil corps existe réellement, divisons-le. Que restera-t-il après la division ? une grandeur ? Non, cela ne peut pas être, parce que le tout étant par supposition divisible, il ne peut rien exister après la division, qui ne soit déjà divisé. Si donc après la division il ne reste ni corps ni grandeur, ou le corps était formé de points, et ces points auront donné au corps une grandeur qu'ils n'avaient pas; ou bien il ne sera rien du tout. Dans ce dernier cas, le corps ne sera pas réel mais apparent, et s'il est formé de points, il n'aura pas de quantité. » (1)

Il apporte encore d'autres raisons pour prouver la même chose, et c'est à la suite de ces raisons qu'il explique comment il faut entendre la divisibilité à l'infini. Nous l'avons déjà dit, mais nous aimons à y revenir. Elle consiste justement dans l'impossibilité de trouver dans la matière autre chose que de la matière, dans l'impossibilité de la résoudre en éléments qui n'aient pas de parties, ou en éléments qui ne soient pas matériels. La matière, avons-nous dit en commençant cette discussion, est par elle-même indéterminée, en ce sens qu'elle ne peut subsister d'elle seule; mais elle est pourtant toujours déterminée à ne pouvoir être autre chose que corporelle, c'est-à-dire à ne pouvoir exister autrement que de la manière propre aux corps, ou à ne pouvoir exister sans être corps.

Voilà pourquoi Aristote dit ensuite, comme nous l'avons déjà rapporté plus haut, *corpus potentia quidem divisibile existit, actu indivisibile. Potentia*, parce qu'il est essentiel aux substances matérielles d'être étendues et par conséquent d'être toujours divisibles; *non actu*, parce que si cette divisibilité pouvait être réduite en acte, si l'on pouvait à un instant donné ne plus pouvoir continuer la division, on arriverait par là même à résoudre la matière en

(1) Siquis corpus aliquod magnitudinem omnino et omni ex parte divisibilem esse statuat, atque fieri posse ut penitus dividatur, quid erit quod effugiat divisionem...? Itaque cum corpus ipsum omnino tale sit, dividatur. Quid ergo erit reliquum? Magnitudo? Id enim fieri non potest; esset enim quippiam haud divisum : at erat omni parte, omninoque divisibile. At verò, si nec corpus nec magnitudo relinquatur, divisio tamen sit; aut corpus ex punctis constabit et ea ex quibus componitur magnitudine carebunt, aut nihil omnino erit. Quare, sive factum ex nihilo, sive compositum sit, profecto totum ipsum nihil præterquam apparens erit. Similiter si ex punctis conflari dicatur, quantum non erit (De *gener.* et *corr.*, lib. IV, c. 2)

quelque chose d'immatériel, ce qui est absurde. La matière serait dans ce cas tout à la fois divisible et indivisible. Afin donc de ne pas tomber dans cette absurdité, il faut nécessairement que les substances corporelles soient toujours divisibles en *puissance*, sans qu'il soit possible *jamais* d'épuiser cette division.

Mais, *qui sait*, si à force de diviser nous n'arriverions pas enfin à trouver une parcelle tellement ténue, qu'il fût impossible de la diviser sans la détruire ? C'est ainsi que s'expriment timidement quelques savants. D'autres, et plusieurs même, et même des savants de mérite, affirment cela comme chose certaine. Nous lisons en effet, dans plus d'un écrit récent, cette phrase ou son équivalent : *la matière qui remplit l'univers est formée de monades sans étendue, qu'on ne peut diviser sans les détruire.* Nous répondons aux premiers : *Qui sait* n'est ni sérieux ni scientifique, et comme *nul ne sait*, nul n'a le droit de l'affirmer. Nous répondons aux seconds, en leur demandant la permission de leur nier formellement ce qu'ils affirment d'une manière si formelle. Divisons par la pensée une portion quelconque d'étendue, d'espace ou de temps : pour si loin que nous laissions aller notre imagination dans ce travail, trouverons-nous jamais dans l'étendue autre chose que de l'étendue, dans l'espace autre chose que de l'espace, dans le temps autre chose que du temps ? Est-il possible qu'à force de diviser, nous nous trouvions enfin en face de rien ? Evidemment non. Fractionnez le temps autant que votre imagination peut vous le permettre : après ce travail, elle se trouvera réduite à ne plus savoir apprécier la petitesse des fractions obtenues, et s'égarera impuissante à aller plus loin ; mais votre raison comprend que ces fractions, quoique inappréciables, sont encore des fractions de temps, et que non seulement elles sont encore divisibles, mais qu'il ne pourrait en être autrement. La raison, en effet, voit que des fractions de temps, pour si exiguës qu'on veuille les supposer, ne peuvent par la division devenir rien, pas plus que de rien on ne peut obtenir le temps.

De même, et à plus forte raison, on ne pourra par la division détruire une substance matérielle. On ne peut détruire une substance qu'en l'annihilant. Une substance corporelle n'est pas annihilée

par la simple séparation de ces parties, car chacune de ces parties est matérielle, non pas parce qu'elle est réunie à une autre, mais par sa propre essence. Un corps, pour aussi minime que l'imagination puisse le concevoir, ne peut se dissoudre en néant, pas plus qu'il ne peut être formé ou composé de rien. Voilà pourquoi Aristote a affirmé *Stultum est arbitrari elementa corporea partibus carere. (De insecab. lineis.)*

Platon, on s'en souvient, admettait dans les corps des quantités insécables. Dans son esprit, ces quantités n'étaient cependant pas des points, mais de petites surfaces, ce qui paraît de soi-même fort étrange ; car à l'idée de surface est naturellement liée l'idée d'étendue, et à celle-ci l'idée de divisibilité. Cependant Aristote se sent moins choqué de cette inconséquence que de la supposition en elle-même, parce qu'elle est trop évidemment absurde. Il dit, qu'il trouverait moins déraisonnable, bien que ce soit une très-grande absurdité, de supposer qu'un corps ne peut supporter aucune division, plutôt que d'affirmer qu'en continuant la division on puisse parvenir à ne plus trouver que des surfaces ; car ceci, dit-il, dépasse toutes les bornes de la raison (1).

Nous venons de voir que saint Thomas et Aristote, les deux plus grands génies philosophiques que la terre ait jamais vus, soutiennent, bien que par des raisons différentes, que l'étendue est une qualité nécessaire. Suarez et l'ensemble des philosophes qui portent glorieusement ce titre, sont de cette même opinion. Scot, le docteur subtil, comme on l'appelait à cause de la subtilité de sa dialectique, Scot, dis-je, qui affirmait, contrairement aux autres scholastiques, qu'une substance corporelle pouvait être simple par son essence, soutenait cependant la nécessité de faire la matière étendue. Or, les philosophes étant, aussi bien que les physiciens, des juges légitimes et compétents en cette question, ont aussi le droit d'être entendus. Il faut donc que nous tenions compte de leur jugement.

Maintenant, les physiciens qui prétendent que l'étendue n'est pas absolument nécessaire aux derniers éléments, et que ces éléments sont indivisibles ou que ce sont des monades sans quantité, sur quels

(1) Hoc ipsum, fieri inquam dissolutionem ad plana usque, concelios egreditur rationis : idcirco magis consentaneum rationi fuerit corpora non posse dividi. Verum et hæc quoque perabsurda sunt. *(De generat. et corrupt.* Ibid.)

arguments s'appuient-ils? Existe-t-il un fait quelconque qui prouve ou qui tende à prouver cela d'une manière ou d'une autre? Nous affirmons qu'il n'en existe aucun. C'est donc une supposition. Cette supposition est-elle nécessaire pour l'explication des phénomènes? Je ne le pense pas. Les phénomènes sont-ils au moins mieux expliqués? Je ne le crois pas non plus. Je me vois donc forcé, par la raison et par le bon sens, à m'éloigner de l'opinion de ces physiciens pour me ranger à la suite des philosophes. Je dis donc, comme ceux-ci, que l'étendue est absolument nécessaire à la matière en acte, quelle que soit la ténuité que l'imagination veuille lui donner.

Mais comme je pourrais ignorer les faits sur lesquels l'hypothèse des éléments simples est établie, je serais très-heureux qu'on voulût les porter à ma connaissance. Et comme je pourrais aussi ne pas assez comprendre l'avantage qu'il y aurait pour la science à admettre les monades simples, et le danger qu'il y aurait pour elle à les rejeter, ceux qui voient ces avantages et qui craignent ce danger seront assez bons pour m'éclairer.

Quant à présent, non seulement je ne vois rien de cela, mais je trouve cette hypothèse inconséquente et absurde. Que ceux qui la soutiennent ne soient pas blessés de ces paroles; car j'avouerai ingénuement que je l'ai soutenue moi-même pendant quelque temps. L'hypothèse des monades simples, telle qu'elle avait été proposée par le P. Boscovich, m'avait séduit, d'abord à cause du prestige dont était entouré le nom de l'auteur, et ensuite parce qu'à la vérité, en voulant me rendre compte de l'opinion contraire, c'est-à-dire de la divisibilité sans bornes, je voyais mon imagination se perdre dans un abîme. Il ne faut pas se faire illusion; il y a là, ainsi que nous l'avons fait déjà remarquer, une vraie difficulté que la faiblesse de notre raison ne peut pas surmonter. Je pense que c'est précisément ce qui a arrêté saint Thomas et qui l'a déterminé à ne pas poursuivre la discussion jusqu'au bout. Ainsi, je ne m'étonne pas que l'hypothèse des éléments simples soit encore soutenue par quelques savants. Mais on ne devrait pas s'étonner non plus que nous l'ayons caractérisée d'inconséquente et d'absurde; car, d'après tout ce que nous avons dit jusqu'ici, nous nous croyons autorisé à le faire.

Dans la division à l'infini, notre raison trouve, il est vrai, une

difficulté, mais elle ne trouve pas l'absurde, puisque nous avons par plusieurs raisons prouvé, non seulement la possibilité de cette division, mais sa nécessité. Nous avons, conséquemment, par cela même, démontré l'inadmissibilité de l'hypothèse contraire. Mais nous allons reprendre cette question d'une autre manière. Nous l'avons étudiée jusqu'ici en l'envisageant, pour ainsi dire, seulement de profil; nous l'aborderons maintenant en face, pour la soumettre à une analyse plus directe.

Si les derniers éléments sont simples ou sans étendue, que sont-ils, ou comment existent-ils? Ceux qui admettent cette manière d'être de la matière, quel concept s'en forment-ils? Est-il possible de concevoir quelque chose qui est matériel tout-à-la-fois et dépourvu de tout ce que nous sommes habitués à voir dans la matière? Supposer une substance matérielle, dépourvue de toute quantité, de toute étendue, n'est-ce pas une contradiction ou au moins une inconséquence?

En effet, si les éléments matériels, les $\mu$ ou monades sont dépourvus de toute dimension, comment existent-ils dans l'espace? Ils n'y existeront certainement pas à la façon des corps : je ne vois pas qu'ils puissent exister autrement qu'à la façon des esprits ou à la manière des points mathématiques. Les esprits ne sont pas commensurables à l'espace, parce que l'esprit, n'ayant pas besoin d'espace pour exister, ne détermine pas l'espace; car on ne peut assigner un point de l'espace occupé par lui. L'esprit donc, par sa présence dans l'espace, ne peut constituer *un terme* dans l'espace. Il en est de même des points mathématiques. Le point mathématique ne peut constituer qu'un terme dans l'espace idéal, non pas dans l'espace réel. Le point mathématique n'étant qu'un être de raison, ne peut pas déterminer physiquement une limite, un terme quelconque dans l'espace, ou rendre l'espace réel; par conséquent, un aggrégat de points aussi considérable qu'on veuille le supposer, et disposés n'importe de quelle manière, ne produira pas l'étendue. Si donc les $\mu$ ou les monades sont des points ou existent à la façon des esprits, ils ne pourront jamais déterminer l'étendue ni faire naître aucune des qualités de la matière.

Dans tous les cas, il est incontestable qu'un élément étant simple,

n'ayant aucune dimension et n'occupant pas d'espace, ne sera pas, à proprement parler, dans l'espace; car l'espace n'est pas quelque chose qui soit séparable du corps. L'espace n'est pas le corps, mais l'espace n'existe réellement qu'autant qu'il y a un corps qui le détermine; je parle d'espace réel. Si donc un élément n'occupe pas d'espace, aucun élément ne l'occupera; l'ensemble des éléments ne l'occupera pas non plus : le corps ne sera pas dans l'espace, ce qui est absurde.

Si le corps se composait d'éléments sans étendue, en enlevant à ce corps un de ces éléments, on ne changerait rien à son étendue; on ne changerait de même rien, si on en enlevait deux, dix, trente. On pourrait même enlever au corps la moitié de ses éléments, que son étendue ne serait pas changée : la moitié égalerait donc le tout, ce qui est encore absurde.

Aristote avait déjà démontré que des éléments sans étendue ne peuvent point constituer une quantité. Un élément pareil, dit-il, ne peut pas en toucher un autre de manière à s'unir avec lui seulement par une extrémité; car, s'il le touche, il doit coïncider ou se confondre complétement avec lui. Quel que soit donc le nombre d'éléments qu'on chercherait à réunir ensemble, tous se pénètreraient en un seul, et le premier toucherait le dernier de la même façon que le plus voisin. On pourra donc juxtaposer des monades comme on voudra; non seulement elles ne produiront pas de corps, mais elles ne pourront même pas faire naître l'idée de surface ou l'idée de ligne.

On ne répond pas, croyons-nous, à cet argument en disant que les monades ne sont pas en contact; car, pour se communiquer les mouvements dont on les suppose animées, il faut bien qu'elles se touchent, et par conséquent qu'elles se compénètrent.

Ici il se présente tout naturellement à nous un autre argument d'une grande force. C'est que si les éléments sont simples, tout mouvement devient impossible, et conséquemment ils ne pourront faire naître l'étendue ni aucun autre phénomène. Un élément sans étendue ne peut avoir de résistance; car la résistance naît de la quantité ou de la masse : or, un corps sans étendue est un corps sans masse, et par conséquent sans résistance. Comment donc des éléments pareils,

alignés ou juxtaposés n'importe do quolle manière, pourraient produire en nous la sensation de l'étenduo? Pour que les éléments donnent l'étendue, il ne suffit pas de les supposer situés à distance les uns des autres; il faut aussi qu'ils soient capables de recevoir et de transmettre le mouvement qui doit produire en nous cette sensation. Et comment pourraient-ils être capables de cela, s'ils ne peuvent se toucher sans se compénétrer?

On voit par là que l'étendue ainsi que l'impénétrabilité sont deux propriétés inséparables de la matière : on ne peut lui enlever l'une sans détruire l'autre et sans détruire la matière elle-mêmo, ou, du moins, sans brouiller toutes les notions que nous possédons sur la matière et sur ses phénomènes. Les monades simples pondérables, comme les μ de M. Seguin, ne sont donc pas de la matière, puisqu'on leur octroie comme essentielle uno propriété que la matière ne réclame pas nécessairement, et qu'on les dépouillo des qualités sans lesquelles la matière ne pourrait subsister.

En résumé, l'hypothèse des μ *pondérables* repose sur des suppositions dont quelques-unes sont gratuites, d'autres contradictoires. Non seulement elle n'est pas plus simple que l'autre hypothèse, mais elle est incapable de se rendre compte d'aucun phénomène. Tous les phénomènes matériels sont occasionnés par des mouvements. La première condition indispensable pour le mouvement est que le corps qui doit le recevoir ou lo transmettre, oppose une certaine résistance, et ensuite il est nécessaire aussi qu'il possède une certaine masse. Les μ étant des monades simples sans étendue et capables de se compénétrer, sont par là même sans masse et sans résistance et conséquemment impuissantes à recevoir ou à transmettre un mouvement quelconque. L'auteur, pour avoir voulu trop simplifier, a créé une substance qui n'est pas matérielle.

La matière déliée qui remplit l'univers et qui sert de véhicule à la transmission des divers modes de mouvement que nous appelons lumière, calorique, électricité, etc., l'*éther*, en un mot, ne peut pas être regardé commo formé d'éléments sans étendue et sans résistance. L'étendue et la résistance sont absolument nécessaires pour la production et la transmission de ces modes de mouvement. Elles constituent les propriétés essentielles de la matière. La pondé-

rabilité est une propriété secondaire : rien ne prouve que l'éther en soit doué. Plusieurs raisons militent, au contraire, pour le faire regarder comme impondérable.

La matière pondérable non plus ne peut être regardée comme constituée *d'éléments simples*, par les raisons que nous venons d'indiquer. Cette expression devrait, croyons-nous, être éliminée des ouvrages de physique. Les physiciens devraient, à notre avis, se contenter de regarder les atômes comme très-ténus, et ne pas aller plus loin. Aller plus loin, c'est sortir du terrain des faits pour entrer dans un domaine qui ne leur appartient pas et pour marcher vers l'inconnu.

Quelques savants appellent les derniers éléments des *centres de force*. Cette expression nous paraît moins heureuse que toutes les autres. Nous ignorons au juste quel sens ces savants y attachent, mais l'expression en elle-même paraît vouloir dire que les éléments derniers de la matière ne sont que des forces. Or, qui ne le sait ? la force ne peut exister par elle-même : elle a besoin d'un sujet, dans la nature duquel elle ait son fondement intime. On ne peut nullement se faire une idée d'une force ou d'un centre de force existant substantiellement tout seul. L'idée de force est nécessairement liée à l'idée de quantité ou de masse : non seulement une force ne peut point exister sans masse, mais il nous serait impossible, sans celle-ci, de nous former un concept quelconque de la force elle-même. *Centres de force* ou points de force, c'est donc quelque chose d'inconcevable.

Avant de mettre fin à cette note, nous prendrons la liberté d'avancer notre manière de voir sur la réciprocité d'action entre l'éther et la matière pondérable. Nous dirons timidement que nous serions porté non seulement à exclure l'idée d'une attraction entre la matière éthérée et la matière pondérable, mais entre celle-ci et l'éther. Il nous semble qu'on peut en dire autant de la répulsion, car il n'y a pas plus de raison, croyons-nous, de supposer entre ces deux matières une répulsion qu'une attraction. Car si, dans un certain nombre de cas la matière pondérable permet à l'éther de se mouvoir librement entre ses molécules, se prêtant sans obstacle, soit aux mouvements de vibration, soit au mouvement longitudinal, dans un nombre de cas non moins considérable, elle se refuse à son

écoulement et s'oppose à la transmission de ses vibrations. Nous serions donc porté à n'admettre *entre les deux substances* matérielles ni attractions ni répulsions réelles.

Cependant, comme l'ensemble des faits prouve jusqu'à l'évidence l'existence de ces deux forces ou de leur équivalent dans tous les corps, rien n'est plus éloigné de notre pensée que de les méconnaitre. Mais nous attribuons les attractions aux seules molécules pondérables; les répulsions aux seules molécules de l'éther. Selon nous, les seules molécules pondérables tendent à graviter les unes vers les autres; les molécules de l'éther, au contraire, tendent à s'éloigner. C'est par son expansibilité que l'éther se trouve disséminé dans l'espace et entre les molécules de la matière pondérable et non pas, comme nous l'avons dit, en vertu d'une attraction quelconque pour la matière pondérable elle-même. Or, l'éther étant animé de mouvements très-rapides, ces mouvements ne pouvant ne pas se transmettre à la matière pondérable, feront naître entre ses molécules une répulsion ou une dissension plus ou moins prononcée, selon les circonstances, et donneront lieu ainsi à tous les phénomènes moléculaires que nous voyons dans la matière... *Verum hæc non magni facimus, atque sapientioribus pertractanda relinquimus.*

---

## NOTE B. *(Page 116.)*

---

L'éther entre-t-il comme élément constituant dans la matière pondérable? Un article publié dans *les Mondes* il y a quelques mois a touché incidemment cette question. Cet article nous a suggéré des réflexions que nous nous étions proposé de publier ici; mais on nous a sagement fait remarquer que ces considérations seraient à leur place dans une revue scientifique, mais non pas dans ce livre, par la raison que ces considérations soulèvent naturellement des difficultés auxquelles nous aurions le devoir de répondre, et nous ne pourrions nous acquitter de ce devoir que dans une revue. Nous avons trouvé

cette raison bonne. Nous enverrons conséquemment notre écrit à une revue périodique.

---

## NOTE C. *(Page 84.)*

---

### MIRAGE.

Après avoir décrit brièvement un cyclone que la frégate la *Belle-Poule* essuya par le travers de l'île de la Réunion, le 16 décembre 1846, M. Julien décrit en ces termes le mirage dont il fut témoin pendant ce voyage :

« Le souvenir de cette nuit terrible nous remet en mémoire quelques détails sur un phénomène (météorologique ou physiologique, n'importe !) que l'on nous pardonnera, peut-être, de rappeler ici. L'ouragan nous avait séparés de la corvette française le *Berceau*, qui ne devait se trouver qu'à petite distance de la route que nous avions suivie. Une mâture de fortune nous permit, au bout de quelques jours, d'atteindre le lieu du rendez-vous, fixé à l'île Sainte-Marie-de-Madagascar. Vainement nous interrogeâmes l'horizon, sondâmes les criques et explorâmes toutes les sinuosités du rivage. Nos recherches furent sans résultat ; rien ne put nous mettre sur les traces de nos malheureux compagnons. Un mois s'était ainsi écoulé dans la plus cruelle anxiété, quand, tout à coup, du haut de la mâture, la vigie signala, dans l'Ouest, un navire désemparé dérivant vers la terre. Ce n'était point un rêve. Le soleil était resplendissant, le ciel limpide et pur ; l'air échauffé vibrait à l'horizon. Toutes les longues-vues, braquées dans cette direction, ne firent que confirmer la réalité de cette dernière nouvelle. Mais l'émotion bientôt devait devenir plus poignante ; ce n'était plus un navire en dérive qui nous apparaissait, c'était un radeau chargé d'hommes et remorqué par des embarcations sur lesquelles flottaient des signaux de détresse. Les *images* d'ailleurs étaient *nettes et arrêtées ;* les lignes se dessinaient parfaitement distinctes. A bord de la frégate, officiers, commandant, matelots, tous, pendant plusieurs heures, sous le coup d'une hallucina-

tion fiévreuse, purent suivre do leurs propres yeux les détails de cette indescriptible scène do mer. L'amiral Desfossés, commandant alors la station de l'Inde, fit appareiller à la hâte le premier steamer qui se trouvait sur rade pour voler au secours de ces débris vivants, que l'Océan semblait nous rendre du fond de ses abîmes.

» Le jour commençait à baisser ; la nuit, comme sous les tropiques, tombait déjà sans crépuscule quand l'*Archimède* arriva au but de sa mission. Il stoppa au milieu des épaves flottantes, et mit ses canots à la mer. Tout autour, il continuait à voir des masses d'hommes s'agiter, tendre les mains au ciel ; on entendait déjà le bruit sourd et confus d'un grand nombre de voix mêlées aux battements des avirons dans l'eau. Encore quelques secondes, et nous allions serrer dans nos bras des frères arrachés à une mort certaine .

Illusion des nuits, vous jouiez-vous de nous !

Nos canots s'enfoncèrent dans les épaisses branches de grands arbres arrachés à la côte voisine et entraînés avec tout leur feuillage dans les contro-courants qui remontent au Nord.

» Ainsi s'évanouit cette étrange vision, ainsi se dissipa la dernière espérance qu'un mirage trompeur avait, pour ainsi dire, évoquée du fond de l'Océan. Ainsi sombra de nouveau sous nos yeux l'infortuné *Berceau* et les trois cents victimes englouties dans ses flancs. (JULIEN, *Courants et révolutions de l'atmosphère*, p. 25.) »

Nous ajouterons aussi quelques observations inédites faites on Algérie par M. l'abbé Cousserand, curé do Douaouda, près d'Alger. C'est un observateur intelligent, comme le lecteur va le voir, par les détails dont sa relation est remplie. Voici cette relation, datée do Douaouda, juin 1869 :

« ..... Le mirage, dans l'Algério, est un phénomène fort ordinaire. On peut affirmer que pendant l'été il se renouvelle tous les jours, particulièrement dans les plaines sablonneuses du plateau do Sersous. Pour mon compte, je puis dire l'avoir vu toutes les fois que j'ai eu occasion de passer dans la grande plaine d'El Hodnah. Pendant les deux ans que j'ai habité Bou-Saada, j'ai été témoin du mirage au moins une centaine de fois. Bou-Saada est une villo à peu de distance et au S.-O. du grand lac Chot El Saïda, appelé vulgairement dans

le pays lac de Bagneu. Ce lac, qui est salé, se dessèche complétement pendant l'été. Sa surface prend alors une teinte blanchâtre : elle est due, je crois, à de l'azotate de potasse ou de soude qui s'y forme en grande quantité. Je ne me souviens pas d'avoir passé une seule fois, à cette saison, près de ce lac, en me rendant à M'Silah ou en rentrant à Bou-Saada, sans avoir assisté à une de ces représentations merveilleuses. Le phénomène a lieu depuis neuf heures du matin jusqu'à quatre heures du soir : je ne me suis jamais trouvé en vue du lac ni avant ni après ces heures, je ne pourrais par conséquent indiquer à quel moment le phénomène commence et à quel moment il finit. L'illusion surprend la première fois, mais ensuite on n'y fait plus attention, car le mirage se présente toujours à peu près de la même manière : il varie cependant selon la position de l'observateur et aussi selon la position du soleil.

» Voici en quoi le phénomène consiste. Bien que le lac soit, comme je viens de le dire, entièrement à sec, et qu'il n'existe dans ses bords un seul brin d'herbe, on le dirait, comme pendant l'hiver, couvert d'eau et bordé d'arbres et de massifs de verdure ; les chameaux, qui se trouvent toujours assez nombreux aux environs, paraissent beaucoup plus grands qu'ils ne sont en réalité. Une fois entre autres, en revenant de M'Silah, vers quatre heures du soir, j'ai été surpris des dimensions colossales de ces animaux.

» Les eaux du lac et les arbres qui paraissent le border ne peuvent être qu'une représentation des rives du golfe de Bougie, car ce golfe est l'endroit de la mer le plus rapproché ; cependant, pour se rendre de Bougie au lac Chot El Saïda, il faut plus de cent lieues : en ligne droite, d'après les cartes, il y en a une trentaine au moins.

» Je ne sais jusqu'à quel point ce fait peut vous intéresser, car, comme vous le voyez, il ne présente rien d'extraordinaire. Mais en voici un autre que j'ai observé sur le lac de Valmy et qui pourra peut-être vous intéresser davantage.

» Le lac de Valmy est trois fois plus petit que le précédent : il s'étend à peu près de l'E. à l'O. entre Valmy, Mizarquin et Aintemouchen, et a douze lieues de long sur deux lieues de large. Comme il est peu profond, ses eaux débordent pendant l'hiver et s'étendent plus ou moins tout autour, mais pendant l'été il n'y en reste point de

trace. Le fond forme alors une plaine blanchâtre, qui permet à l'air superposé de s'échauffer plus qno snr tout autre point du sol. Un jour, j'allais d'Ain El Arba à Lourmel ; c'était le 15 août 1862. A dix heures du matin, je me trouvais vers le milieu du lac desséché comme toujonrs à cette époque, lorsqne, tout à coup, le lac disparaît devant moi, et, à sa place, je vois la mer s'étendre au loin avec ses eaux bleues, et vers l'Ouest l'écume des vagues qui va monrir au rivage. J'étais pourtant éloigné de la mer au moins de six lieues. Dans cette mer, deux bateaux à vapeur faisaient route du S. au N. à une certaine distance l'un de l'autre. Je ne puis apprécier ni cette distance ni l'espace qui les séparait de moi. Je puis affirmer seulement que le plus rapproché se dessinait si nettement à mes regards que j'ai pu distingner parfaitement les mâts, les vergnes et les noires colonnes de fumée qui s'élevaient dans les airs.

» Cette mer s'étendait du S. au N. à perte de vue, mais au-dessus de la mer, à une grande distance, l'horizon était borné par des collines recouvertes de touffes de verdure. C'était la réalité : ces collines existent en effet et sont situées à moitié chemin entre Oran et le lac Valmy. Mais vers l'O. on voyait des maisons s'élever en amphithéâtre : les images étaient assez nettes et immobiles, et bien qu'elles parussent à une grande distance, on pouvait cependant voir très-bien les fenêtres. C'était, je pense, une image de la ville d'Oran, qui se trouve à six lieues de là. La température, ce jour-là, était étonffante, et un calme plat régnait dans l'atmosphère.

» En général, l'air est calme lorsqne le mirage a lieu. Il me semble que je n'ai jamais trouvé de vent près du lac Chot El Saïda, du moins je ne m'en souviens pas ; mais je me souviens parfaitement que la chaleur y était presque toujonrs accablante. »

Pouillet rapporte aussi plusieurs autres faits de mirages à images très-nettes, que les lecteurs trouveront dans ses *Éléments de Physique,* vol. 2, livre 3, chap. 3.

---

# DOCUMENTS

*Lettre circulaire envoyée à plusieurs Missionnaires des régions équatoriales. — 25 mars 1868.*

MONSIEUR,

A la veille de publier un ouvrage sur les *Mouvements de l'atmosphère* je me trouve dans la nécessité de recourir aux Missionnaires qui habitent les régions équatoriales pour leur demander sur les brises de ces contrées des renseignements qu'il serait impossible de trouver dans les livres. La science possède à peine quelques observations sur les brises de nos climats tempérés ; mais aucun ouvrage n'a été encore publié qui traite la question des brises alternantes des régions inter-tropicales. C'est pourquoi je prends, Monsieur, la liberté de m'adreser à vous pour vous en demander des détails. Le questionnaire qui va suivre, en vous fixant sur les particularités que je tiendrais à voir éclaircies, vous facilitera la réponse. Vous m'obligeriez beaucoup si vous pouviez répondre au plus grand nombre, ou au moins à quelques-unes de ces questions. Parmi les choses que je vous signale, il y en aura certainement plusieurs qui vous auront frappé, et que vous aurez, par conséquent, remarquées presque sans le vouloir. Si votre lettre ne renfermait que ces renseignements, elle serait déjà d'un grand prix pour moi.

Dans tous les parages de la zone torride, il existe *deux brises* qui soufflent, l'une *de la mer vers la terre*, la seconde *de la terre vers la mer*. Elles s'étendent peu au large, et sont d'autant plus régulières que les mers sont plus libres et que les terres sont plus élevées près des rives. Dans les mers resserrées, on remarque des irrégularités sur les heures de leur apparition et de leur disparition, sur leur durée, ainsi que sur leur intensité. Les climats inter-tropicaux sont partagés en deux seules saisons, la saison sèche et la saison des

pluies ; c'est à cette dernière époque surtout qu'il faut étudier ces vents, parce qu'ils sont alors accompagnés de phénomènes qui peuvent nous en révéler la nature, et nous mettre dans la voie de découvrir les causes qui les produisent.

Sans autre préambule, je passe au questionnaire :

Commencer par indiquer le pays que vous habitez, et depuis combien de temps, ainsi que la latitude et la longitude, si elles vous sont connues. En outre, indiquer :

1° Les époques du commencement et de la fin de la saison des pluies ;

2° L'heure à laquelle commence chaque jour la brise marine, l'heure à laquelle elle a complétement cessé ;

3° Lorsque cette brise se lève, la mer commence-t-elle à se troubler au large, ou du côté de la terre ?

4° Cette brise marine va-t-elle en augmentant d'intensité jusqu'au coucher du soleil, ou bien mollit-elle quelque temps avant ?

5° A quelle heure, à peu près, correspond son maximum de force ?

6° Pendant que ce vent dure, le ciel se couvre-t-il çà et là de vapeurs, ou bien conserve-t-il sa première pureté ?

7° A quelle heure ces vapeurs commencent-elles à paraître ? Est-ce avec le lever du vent, ou quelque peu de temps après ?

8° Ces vapeurs prennent-elles un mouvement vers la terre ? S'y arrêtent-elles ? Finissent-elles par y former des nues ?

9° Pendant que le ciel est pur sur la mer, voit-on des nuages sur les terres ?

10° Dans presque toutes les contrées inter-tropicales, à l'époque des pluies, on voit tous les jours, à une certaine heure du matin, les côtes se rapprocher tellement de l'observateur, qu'à vingt-cinq ou trente lieues au large on découvre le profil des montagnes dont le sommet ne s'élève qu'à 2,000 mètres à peine de hauteur. Ce phénomène du rapprochement des côtes (ou îles environnantes) a-t-il lieu chez vous ?

11° Remarque-t-on un peu d'augmentation dans la brise marine quelques instants avant sa disparition ?

12° La brise de terre commence-t-elle avec force et va-t-elle en-



suite s'affaiblissant, ou bien s'établit-elle graduellement et va-t-elle en augmentant d'intensité jusqu'à la fin ?

13° A quelle heure commencent les premières bouffées, à quelle heure le vent est-il tout à fait régulier ?

14° Cette brise de terre est-elle toujours accompagnée d'éclairs et de tonnerre ?

15° L'éclair et le tonnerre précèdent-ils ou suivent-ils les premières bouffées de la brise ?

16° Les nuages qui s'étaient formés sur les montagnes commencent-ils à s'en détacher avec les premiers souffles du vent de terre ?

17° Ces nuages prennent-ils le large, ou se dissipent-ils aussitôt qu'ils arrivent sur la mer ?

18° Lorsque le tonnerre et les éclairs diminuent, la brise mollit-elle en proportion ?

19° Les premiers souffles troublent-ils la mer au large ou bien près de la terre ? (Cette question ainsi que l'analogue (n° 3) pour la brise marine sont d'une grande importance.)

20° A quelle heure la brise de terre a-t-elle cessé ?

21° Les deux brises sont-elles toujours régulières pendant la saison des pluies ?

22° Quelle est la température au moment des premiers souffles de la brise ? (Si on n'a pas de thermomètre, indiquer au moins si la chaleur est forte ou non.)

23° *Saison sèche*. Pendant cette saison, les deux brises existent-elles aussi ? Sont-elles régulières ? Sont-elles comparables en intensité aux brises de la saison opposée ?

24° Sont-elles accompagnées des mêmes phénomènes ? Y a-t-il de l'électricité avec la brise de terre ? S'il y a des phénomènes électriques, ont-ils quelque intensité ?

25° Indiquer les heures de l'apparition et de la disparition des deux vents, et les autres particularités qu'on aurait pu remarquer. (Voir les divers numéros pour les brises de la saison des pluies.)

26° Au-delà de la limite des brises, souffle-t-il la mousson ou l'alizé ?

27° Lorsque les deux brises alternantes ne se font pas sentir sur la contrée que vous habitez, souffle-t-il d'autres vents ?

28° Ces autres vents sont-ils réguliers, ont-ils quelque intensité, durent-ils longtemps?

29° Indiquer si les contrées habitées par vous, ou les terres, ou mers environnantes sont couvertes de nuages pendant une époque de l'année.

30° La foudre tombe-t-elle jamais sur la terre? Si cela a lieu, est-ce sur la plaine chaude ou sur les sommets froids des montagnes?

Voilà, Monsieur, quelles sont les questions sur lesquelles je tiendrais à être renseigné, etc...

Veuillez agréer, etc.

J.-M. SANNA SOLARO, S. J.

RÉPONSE DU R. P. WENIGER,

Missionnaire apost. D. C. D. J., à Calaba (Bombay).

30 juin 1868.

Il dit d'abord qu'il lui est impossible de répondre au plus grand nombre des questions de la circulaire, parce que ces questions demandent une étude toute spéciale des phénomènes météorologiques, que les occupations de son ministère ne lui ont pas permis de faire. Il donne ensuite la latitude et la longit. de Bombay, et il ajoute : « Sur la côte de Calaba règne la mousson, depuis le commencement de juin jusqu'en septembre ; pendant la plus grande partie du temps que ce vent règne, le ciel est nuageux. Son intensité est fort irrégulière; sa direction est généralement S-E. pendant la nuit. »

Il répond affirmativement au n° 10 de la circulaire.

Quant aux brises alternantes, il dit qu'on ne les observe que pendant la saison sèche; elles sont beaucoup plus faibles que les moussons.

Il donne en outre une foule de détails qui ont leur intérêt scien-

tifique, mais que nous ne rapporterons pas ici, parce qu'ils n'ont pas de relation directe avec le sujet que nous traitons dans ce volume.

Georges Weniger, s. j.

---

**RÉPONSE DE M. SOLAUN,**

Missionnaire apost. de la congrégation des oblats de Marie.

---

*Le pays qu'il habite depuis dix ans et qu'il a parcouru en plusieurs sens est Jaffna, au nord de l'île de Ceylan. Après avoir indiqué la longit. et la latitude de l'île, voici comment il s'exprime :*

Jaffna, le 17 juillet 1868.

Le Nord de l'île va s'abriter à l'Est du cap Comorin et rentre dans le golfe de Bengale. Plusieurs attribuent à cette circonstance le manque de pluie qui se fait souvent sentir dans la péninsule de Jaffna Presque toutes nos côtes sont bordées de bas fonds et d'écueils, excepté du côté Sud-Est; le territoire maritime est généralement plat et à peine élevé de quelques pieds au-dessus du niveau de la mer.

Les auteurs qui parlent de Ceylan se plaisent à dire que cette île jouit d'un printemps presque continuel. Ce pays serait cependant d'une chaleur accablante, s'il ne jouissait du bienfait des moussons du N-E. et du S-O. La première commence en septembre; elle faiblit beaucoup depuis janvier jusqu'à sa totale disparition, au commencement de mai. C'est elle qui nous amène les pluies, lesquelles durent depuis la mi-octobre jusqu'à mi-décembre, et quelquefois un peu plus tard. Pendant les deux mois qui suivent, la rosée est abondante toutes les nuits, tandis que les jours sont beaux et magnifiques. Les brises ne règnent guère ici que depuis mi-février jusqu'à mi-avril, et c'est pour cela que le gouvernement fixe cette époque

pour la pêche des perles. Un coup de canon, dit un auteur anglais, Perceval, tiré à Arippo vers dix heures, annonce que, profitant de la brise de terre, toute la flotte met à la voile. Elle atteint les bancs avant la tombée de la nuit. Au lever du jour, les hommes commencent la pêche. Ils s'y emploient avec activité jusqu'au moment où la brise de mer, qui se lève vers midi, les avertit de revenir à la baie.

Voici à peu près ce que peut observer souvent, à cette époque, un habitant de la plage maritime. A midi, il y a peu de vent, et la chaleur est accablante; dans l'intérieur des chambres, les thermomètres marquent 33° ou 34° centigrades. Cependant, de gros nuages se lèvent à l'horizon du côté des terres, pendant que le ciel est assez pur sur la mer. A environ une heure et demie, on entend dans le lointain le roulement du tonnerre; mais bientôt après, les nuages se dissipent au souffle de la brise maritime qui se fortifie peu à peu. Vers cinq heures 35 minutes, elle a atteint son maximum de force; puis après le coucher du soleil, elle baisse pour laisser la nature dans le calme. Quand la nuit sereine a abaissé son voile sur la terre, on voit du côté de la mer les éclairs sillonner en divers sens une longue bande de nuages qui s'étend à l'horizon. En ce moment la chaleur est ordinairement assez forte, quoique beaucoup moindre qu'à midi. Vers les 10 h., la nature commence à se rafraîchir, une petite brise s'avance du côté des terres et se fortifie peu à peu; à 6 h. 1/2 du matin, elle a atteint son maximum de force. Après cela, elle baisse avec quelques variations jusqu'au moment où elle disparaît, c'est-à-dire un peu avant midi. Quand la brise est régulière, le tonnerre se fait rarement entendre pendant la nuit.

Pendant toute cette époque, le vent qui domine dans l'intérieur des terres, c'est la mousson du N-E. Elle souffle quelquefois du N. même et du N-O. Elle vient souvent visiter les côtes, ce qui trouble considérablement la régularité des brises. Vers la mi-avril, la mousson du S-O. se présente, et celle du N-E. semble céder la place; mais elle revient quelques jours après. Il s'établit alors entre ces deux vents une espèce de combat. D'abord ils sont seuls à l'action; bientôt ils viennent tour à tour, accompagnés de quelques nuages; un peu plus tard, chacun de son côté se met à amonceler dans le ciel des nuées sombres. Tout l'horizon est tendu de noir, le moment

décisif est arrivé ; les deux vents se déchaînent au milieu des éclairs, des tonnerres et des torrents de pluie. Dans la langue du pays, on a donné à ce combat le nom de *Sittirei Koulappam*, qui veut dire mêlée d'avril, parce qu'elle tombe vers le 28 du mois d'avril des païens, jour qui coïncide, je crois, avec le 8[e] de notre mois de mai. La victoire reste à la mousson du S-O., qui règne jusqu'à la fin de septembre.

Je regrette de n'être pas à même de répondre à votre 3[e] et 19[e] question, à laquelle vous attachez beaucoup d'importance. C'est en vain que j'ai différé d'envoyer cette lettre pour avoir le temps de consulter d'habiles marins, afin de savoir où la mer se trouble aux premiers souffles de la brise : ils m'ont donné des renseignements contradictoires.

La foudre doit tomber ici assez souvent ; nous avons dans la plaine des palmiers découronnés qui le témoignent hautement (1).

G. SOLAUN, O. D. M. I.

(1) M. Solaun ne dit pas qu'il ait vu tomber la foudre. Les palmiers sont des plantes qui peuvent vivre plusieurs siècles. Supposons que les plus âgés de ces arbres aient seulement 200 ans, et qu'il y en ait une dizaine de découronnés, la foudre serait tombée une fois tous les 20 ans ! Qu'on double le nombre des arbres maltraités par la foudre, ce qui n'est pas probable, cette proportion ne nous permettrait pas encore d'affirmer que la foudre tombe assez souvent dans ce pays. *(Note de l'A.)*

RÉPONSE DE M. LECLÈRE,

Ancien marin, résidant à Sainte-Marie de Madagascar, depuis une dizaine d'années.

---

*Sainte-Marie de Madagascar, latitude Sud, 17°00' longitude Est, 47°34'30''.*

5 août 1868.

1° Saison des pluies, depuis janvier à fin d'août.

2° La brise marine commence vers 8 h. du matin et finit vers 5 h. du soir.

3° Au lever de la brise, la mer se trouble au large.

4° Elle augmente de 8 h. à 3 h., et va en diminuant jusqu'à 5, où il fait presque calme.

5° Son maximum de force est à 2 heures.

6° Avec grande brise, ciel assez pur; brise molle, temps nuageux.

7° Le temps est le même.

8° Les vapeurs suivent la direction du vent.

9° Non.

10° Oui, le matin surtout, quand il va pleuvoir.

11° Non.

12° Toujours très-faible.

13° Premières bouffées vers 7 heures.

14° Non.

15° L'éclair et le tonnerre sont rares.

16° Non.

17° Ils se dissipent.

18° Non.

19° A terre.

20° Vers 7 h. du matin.

21° Non.

23° Les deux brises sont plus régulières et plus fortes.

24° Beaucoup plus d'éclairs et de tonnerre.

25° Brise de terre de 11 h. du soir à 5 h. du matin, — calme à 2 h. — Brise du large jusqu'à 5 h.

26° La mousson.

27° Presque toute l'année les vents soufflent du S-S-O.

28° Ils sont très-forts et durent plusieurs jours.

29° Le temps est plutôt sombre que clair.

30° Fort rarement : le pays est plat.

De juin à septembre, les trombes sont assez fréquentes dans la baie d'Antongil, et surtout dans le fond (Maranchetta). Presque tous les soirs, il y a de forts orages. Presque toute la nuit, on a du N. au N-O. une petite brise fraîche qui cesse vers les 6 heures du matin, puis calme. La brise du S-E. prend à 3 h. de l'après-midi (bon frais) et dure à peu près 3 à 4 heures. Plus au Nord, les vents vont de la partie du S-S-O. au S-E. pendant le jour; pendant la nuit, calme, et légère brise de terre de 4 h. du matin à 7 heures.

---

RÉPONSE DE M. ALLAY,

Lieutenant du port de Saint-Denis (Ile de la Réunion).

---

*Saint-Denis, latitude 20°51'43'' Sud, longit. 53°09'52'' Est.*

19 juin 1868.

1° De novembre à avril.

2° De 7 à 8 h. du matin, — de 5 à 6 h.

3° Au large.

4° Elle va en augmentant de son commencement jusqu'à 2 ou 3 h. et mollit ensuite.

5° De 11 h. à 2 h.

6° Le ciel est généralement beau; quelquefois de gros nimbus se forment dans l'Est de 5 à 6 h. du soir, avis certain de grandes brises pour le lendemain.

7° Elles sont très-rares.

9° Quelquefois : ce qui annonce la brise de terre pour la nuit.

10° Il n'y a pas de terre environnante.

11° Non.

12° Toujours très-faible.

13° De 7 à 8 h. La brise est très-faible et régulière.

14° Jamais.

16° Rarement, ils tombent sur la terre.

17° Ils se dissipent presque toujours sur la terre.

19° A 3 ou 4 milles de terre.

20° Elle règne généralement de 8 h. du soir à 5 ou 6 h. du matin, toujours très-faible.

21° Non; assez variable.

22° D'octobre à fin de mars, minimum 24°, maximum 30°; d'avril à fin septembre, minimum 19°, maximum 28°. Les plus grandes chaleurs sont du 15 décembre à fin de février; les moindres, de fin d'avril à fin de juillet.

23° C'est pendant la saison sèche que se fait sentir la nuit la brise de terre et le jour la brise du large; pendant la saison des pluies, les brises sont plus variables.

24° Non.

25° Les brises de terre commencent de 7 à 8 h. du soir et finissent de 5 à 6 h. du matin; la brise du large commence de 7 à 8 h. du matin, va en augmentant jusqu'à 2 ou 3 h., et en diminuant ensuite. Elle est presque régulière.

26° Non.

27° Rarement la brise, qui règne presque toujours, est de l'E. au S-E. Quelquefois, elle est remplacée par la brise du N-O. au S-O., qui ne dure jamais plus de 3 jours.

29° Le sommet des montagnes, pendant la saison des pluies.

30° Depuis douze ans, elle est tombée 5 fois, 3 fois sur la montagne, 2 fois sur la plaine.

RÉPONSE DE M. HOSTEIN,

Ancien capitaine de port à Pondichéry; il habite les Indes depuis 34 ans.

---

*Pondichéry est situé par 11°55'41'', latit. Nord, 77°31'30'' longitude Est.*

7 juin 1868.

1° Il n'y a pas de saison dite des pluies. C'est généralement pendant la mousson de N-E., qui commence fin d'octobre et dure jusqu'en mars, que les pluies sont quelquefois abondantes depuis la fin d'octobre et principalement en novembre.

Pendant les autres mois de l'année, il y a des pluies accidentelles, causées par des orages qui se font sentir en juin, juillet et août.

2° L'année est divisée en deux moussons, celle de N-E., citée plus haut, et celle de S-O., qui commence fin de mars et finit en octobre. Les brises de mer, pendant la première de ces moussons, commencent vers 9 h. du matin, et vont en augmentant dans l'après-midi, pour diminuer graduellement jusqu'au commencement de la nuit et faire place à la brise de terre, qui se fait sentir du N-O. jusqu'au matin.

Pendant la mousson de S-O., qui souffle du S-E. sur la côte de Coromandel, à cause de la position géographique de l'île de Ceylan, la brise de mer commence le matin, ou quelquefois après midi si les vents de terre ou de S-O. qui soufflent toute la nuit se prolongent un peu plus avant dans la matinée. C'est presque toujours vers 8 h. du soir que la brise du large cesse et que commence le vent de terre, très-chaud le jour et très-froid la nuit.

3° A la brise de mer dans l'une et l'autre mousson, on voit la mer prendre au large une couleur plus foncée, et la lame augmente à mesure que le vent fraîchit.

4° La brise marine, dans l'une et l'autre mousson, va en augmentant d'intensité dans le milieu du jour; le soir, avant le coucher du soleil, elle commence à diminuer.

5° Le maximum de force de la brise est de midi à 4 h.

6° Dans la mousson de N-E., le ciel se couvre ordinairement de nuages, surtout dans les mois de novembre et décembre. En janvier, le ciel est beau et il n'apparaît que de gros nuages blancs qui se suivent à distance et qu'on appelle balles de coton.

Dans la mousson de S-O., le ciel est quelquefois brumeux, quand le vent de terre se fait sentir pendant le jour.

7° Sur la côte Coromandel, il apparaît dans le 1er mois de l'année quelques vapeurs qui couvrent la terre le matin et dans la nuit.

8° Ces vapeurs disparaissent à mesure que le soleil monte à l'horizon.

9° Pendant la mousson de S-O., on voit souvent le ciel sans nuages; quelquefois, le soir, des nuages s'accumulent dans l'Ouest, poussés par les vents du S-E., et donnent, mais très-rarement, un peu de pluie.

10° Le phénomène du rapprochement des côtes n'a pas lieu à Pondichéry, qui est un terrain plat, peu élevé au-dessus du niveau de la mer et n'est adossé par aucune montagne.

11° La brise de mer diminue graduellement après le coucher du soleil.

12° La brise de terre est toujours très-modérée : elle ne prend un peu de force quelquefois que pendant les mois indiqués plus haut (n° 1); époque à laquelle les vents de terre sont très-brûlants et incommodes.

13° Le vent de terre commence par une petite brise faible, qui atteint sa plus grande intensité après midi.

14° Pendant les vents de N-E., le tonnerre se fait rarement entendre.

15° Il fait généralement calme, quand il se forme des orages accompagnés du tonnerre.

16° Ordinairement les orages vont se fondre à la mer, comme il

est dit plus haut (nº 10). Il n'y a pas de montagnes dans le voisinage de Pondichéry.

17º Pendant les vents de terre, époque des orages, les nuages sont chassés vers la mer par le courant des vents régnants.

18º Dans les temps d'orage, le calme s'établit. C'est à la naissance de la brise que les nuages se dissipent et que le ciel s'éclaircit.

19º Les premiers souffles des vents de terre ne font pas augmenter la mer au large; mais ils rendent quelquefois très-mauvaise la barre qui règne le long de la côte, où la houle, qui s'y rend toujours, est refoulée par les vents de terre, quand ils sont forts et occasionnent ces énormes brisants qui rendent difficile et quelquefois dangereuse la communication de la rade avec la terre.

20º La brise de terre cesse entre 9 h. et midi. Cependant, elle a parfois une durée non interrompue pendant plusieurs jours et plusieurs nuits. Ceci arrive pendant la mousson do S-O.

21º Comme il a été dit plus haut, le peu de durée de la saison des pluies ne change rien aux vents de terre et à ceux du large dans la mousson du N-E.

22º La température varie de plusieurs degrés du matin au milieu du jour, et de ce moment au soir. Dans la mousson de N-E., que l'on appelle la saison d'hiver, il fait, de novembre à février, une température agréable, de 25 à 26 degrés, comparée à la chaleur ardente occasionnée par le soleil et les vents do terre; dans les autres mois de l'année, de 30 à 35 degrés.

23º Il n'y a pas de saison sèche. Pendant la mousson do S-O., l'atmosphère est plus chargée d'humidité que pendant l'autre mousson et le baromètre a une moins grande dépression pendant cette dernière mousson que pendant la première. Les brises de terre et du large règnent alternativement le jour et la nuit.

24º On ne peut répondre d'une manière satisfaisante à cette question, n'ayant pas fait d'observation à cet égard. Il est rare d'avoir des orages dans les moussons de N-E.

25° Les heures de l'apparition et de la disparition des deux vents ont été indiquées plus haut (n° 4).

26° Comme il ne règne que deux moussons pendant l'année, il n'y a pas hors de ces courants d'air de variation dans les vents. Il a été dit (n° 2), que la position géographique de l'île de Ceylan faisait incliner la brise de S-O. ou S-E. sur la côte de Coromandel; mais, quand on est à l'Est de la côte orientale do cette île, on ressent les vents de S-O., qui s'étendent jusqu'au fond du golfe du Bengale.

27° Il n'y a que les deux moussons qui se fassent sentir sur nos côtes.

29° C'est pendant la mousson do N-E. quo l'on voit le plus grand nombre de nuages.

30° Dans la mousson des orages, la foudre est tombée plusieurs fois sur la terre, principalement sur des arbres élevés, tels que des cocotiers.

---

Il est juste que je témoigne ici toute ma reconnaissance aux auteurs de ces documents ainsi qu'aux personnes qui ont contribué d'une manière quelconque à me les procurer. Je tiens à exprimer surtout mes remerciements aux RR. PP. Cazet supérieur général de la mission de Madagascar, H. Blanc supérieur au pensionnat Sainte-Marie, à l'île de la Réunion, et Lavigne supérieur à l'île Sainte-Marie, à l'amitié desquels je dois les lettres si intéressantes de MM. Allay et Leclère. Je remercie plus particulièrement M. Vacant, des Missions étrangères, supérieur du collége colonial de Pondichéry, qui, bien que je n'eusse pas l'honneur de le connaître, a voulu m'obliger en me procurant les renseignements précieux de M. Hostein.

# TABLE DES MATIÈRES

LIVRE I.

EXAMEN DES DIVERSES THÉORIES DES VENTS RECTILIGNES.



LIVRE II.

NATURE DE L'ÉLECTRICITÉ, SES CAUSES, SES EFFETS.



LIVRE III.

VENTS ET ÉLECTRICITÉ.



LIVRE IV.

NOUVELLES THÉORIES.

# TABLE ALPHABÉTIQUE

## ERRATA.

| Page | Ligne | | |
|---|---|---|---|
| 13 | 21 | Différentes parallèles. | Différents parallèles. |
| 15 | 12 | E-pace de vide. | Espèce de vide. |
| 52 | 11 | *(De la note)*. Un peu moins marqué par un ciel. | Un peu moins marqué que par un ciel. |
| 59 | 29 | En moyenne à plus d'un. | En moyenne de plus d'un. |
| 73 | 7 | Dans l'etat anormal. | Dans l'etat normal. |
| 78 | 23 | Elles ne reconnaissent pour cause. | Elles ne reconnaissent pas pour cause. |
| 92 | 10 | L'hygrometre marquait. | Si l'hygromètre marquait. |
| 210 | a.d. | Non contraire. | Nom contraire. |
| 244 | 21 | Pas de vents. | Par des vents. |
| 338 | 14 | Un fil de soie sans torsion dans | Un fil de soie sans torsion est enfermé dans |





